



EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Indrek Niidu**

**LEHISTE JUURDEKASVUDE ANALÜÜS JÄRVSELJA  
ÕPPE- JA KATSEMETSKONNA KAHE ERIVANUSELISE  
PUISTU ANDMETEL**

**ANALYSING LARCH TREES GROWTH OF TWO UNEVEN-  
AGED STANDS DATA AT JÄRVSELJA TRAINING AND  
EXPERIMENTAL FOREST CENTER**

Magistritöö

Metsatööstus

Juhendajad: dotsent Maris Hordo

professor Andres Kiviste

dotsent Ahto Kangur

Tartu 2017



Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Indrek Niidu		Õppekava: Metsatööstus	
Pealkiri: Lehiste juurdekasvude analüüs Järvelja Õppe- ja Katsemetskonna kahe erivanuselise puistu andmetel			
Lehekülgi: 45	Jooniseid: 24	Tabeleid: 1	Lisasid: 8
Osakond:		metsakorralduse osakond	
Uurimisvaldkond:		dendrokronoloogia	
Juhendajad:		Maris Hordo, Andres Kiviste, Ahto Kangur	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu 2017	
<p>Käesoleva magistritöö eesmärgiks on analüüsida kliima mõju Järvelja Õppe- ja Katsemetskonnas kasvavate lehiste diameetri ja kõrguse juurdekasvule ning prognoosida üksikpuude tüvemaht.</p> <p>Käesolevas töös kasutatud andmed on kogutud kahest eri vanusega Järvelja Õppe –ja Katsemetskonna lehise kultuurpuistust. Töös kasutatud kliimaandmed on saadud Järvelja ilmajaamast.</p> <p>Kokku langetati 20 puud, millest analüüsis kasutati kokku 17 puu andmeid. Et saaks radiaal- ja kõrguskasve analüüsketastelt ja -laualt mõõta, oli vaja lauad eelnevalt lõigata ja kettad ette valmistada. Peale analüüsketaste ja –laudade töötlemist toimus mõõtmine, mille käigus mõõdeti analüüsketastelt aastarõnga laiused ja laudadelt kõrguse juurdekasvud, misjärel aastarõngaste laiused ja kõrguskasvud ristdateeriti ja standardiseeriti. Uuriti kahe lehisepuistu analüüspuude kõrguskasvude muutumist aastate lõikes ja võrreldi puu kaupa. Koostati mudelid mis kujutavad kõrguse –ja diameetri juurdekasvuindeksite kronoloogiat proovitükkidel JS017 ja JS279. Kliima ja lehiste radiaal –ja kõrguskasvu vahelisi seoseid analüüsiti korrelatsioon- ja vastavusfunktsioonanalüüsil ning libiseva keskmisega korrelatsioonanalüüsil. Arvutati igale puule tüvemaht kasutades Laasasenaho ja Padari mudelit.</p> <p>Puude kõrguskasvu kui ka radiaalkasvu mõjutavad erinevad kliimafaktorid ja nende koosmõju. Tulemuste analüüsis selgub, et kõige suurem mõju tüvemahu juurdekasvule oli temperatuuril. See ilmnes kliimatiliste faktorite korrelatsioonanalüüsil nii puude radiaal- kui ka kõrguskasvule. Libiseva korrelatsioonanalüüsi tulemusel selgus, et kasvuperioodi teises pooles on juuli, augusti- ja septembrikuu temperatuur mõjutanud puude juurdekasvu mõlemal alal positiivselt, seda nii kõrguskasvu kui ka radiaalkasvu puhul. See võib tuleneda viimaste kümnenditel just kasvuperioodil olnud soojema suve lõpu ja sügise alguse tõttu. Kõrguskasvude kohta tehtud korrelatsioonanalüüsist tuli välja alal JS279 septembri temperatuuride ja sademete positiivne mõju kasvule. Alal JS017 ilmes juuli, augusti ja septembrikuu temperatuuride positiivne mõju lehiste kõrguskasvule.</p>			
Märksõnad: analüüsipuud, dendroklimatoloogia, kõrguskasv, radiaalkasv, tüvemaht			



Estonian University of Life Sciences		Abstract of Master's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Indrek Niidu		Specialty: Forest industry	
Title: Analysing larch trees growth of two uneven-aged stands data at Järvselja Training and Experimental Forest Center			
Pages: 45	Figures: 24	Tables: 1	Appendixes: 8
Department:		Forest Management	
Field of research:		Dendrochronology	
Supervisor:		Andres Kiviste, Maris Hordo, Ahto Kangur	
Place and date:		Tartu 2017	
<p>The aims of current thesis was to analyze the climate response to radial and height growth and estimate stem volume of larch trees in Järvselja Training and Experimental Forest Center. The model tree data used in research are collected from two different aged larch tree stands in Järvselja. The climate data is from Järvselja local meteorological station.</p> <p>Together there were 20 trees cut down, where 17 were used in the analysis. To measure radial- and volume growth of the trees, logs were cut and discs prepared. After preparing the discs and wood boards they were measured for tree ring widths and height growths. Afterwards measured samples were standardized and cross dated. Height growth changes were analyzed and studied by years to year and compered by two stands. Models were made, what represent the chronologies of tree ring width and tree-growth in plots JS017 and JS279. Radial- and tree-growth in response to climate change were analyzed by correlation- and conformity functional analysis and also by moving correlation analysis. Using Laasasenaho- and Padar model, stem volume was calculated for every tree.</p> <p>Tree height- and radial growth are influenced by different factors and by their interactions. Climate factor correlation analyzes to tree radial- and tree growth shows that the most impact for the stem volume has a temperature. Sliding correlation analysis shows that in the last half of vegetation period (July, August and September), the temperatuure has gone positive in both plots. This may be seen because of warmer summer ends and beginnings of autumn, during last growing seasons correlation analyzes made on high growth shows that positive effect has temperature and rainfall during September in the plot JS279. In the area JS017 july, august and september temperature has positive impact on the larch height growth.</p>			
Keywords: dendroclimatology, height growth, stem analysis, stem volume, radial growth			

# SISUKORD

<b>SISSEJUHATUS .....</b>	<b>5</b>
<b>1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....</b>	<b>7</b>
<b>2. MATERJAL JA METOODIKA.....</b>	<b>10</b>
2.1. Proovialade kirjeldus .....	10
2.2. Analüüspuude langetamine ja mõõtmised .....	12
2.3. Analüüslaudade ja -ketaste töötlemine.....	12
2.4. Kõrguskasvude mõõtmine .....	13
2.5. Ilmastikuandmed.....	13
2.6. Andmetöötlus.....	14
<b>3. TULEMUSED JA ARUTELU .....</b>	<b>16</b>
3.1. Lehiste kasv.....	16
3.2. Tüvemahu leidmine.....	20
3.3. Ilmastiku mõju puude radiaalkasvule.....	23
3.4. Ilmastiku mõju lehisepuude kõrguskasvule.....	26
3.5. Arutelu .....	30
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>32</b>
<b>KIRJANDUS .....</b>	<b>33</b>
<b>LISAD.....</b>	<b>36</b>
Lisa 1. JS017, eraldis 15 üldinfo.....	37
Lisa 2. JS279, eraldis 7 üldinfo .....	38
Lisa 3. Transporditud lehised labori ees.....	39
Lisa 4. Kreutzwaldi 5 asuvas laboris, külmkapist võetud järjestatud ja märgistatud vastavalt puule.....	40
Lisa 5. Lihvitud lehise ketas valmis andmete lugemiseks .....	41
Lisa 6. Säsikohast läbi lõigatud palgist 5cm paksuse laua lõikamine lintsaega .....	42
Lisa 7. Puu kokku panek ja juurdekasvude märkimine ja mõõtmine .....	43
Lisa 8. Puu kokku panek ja juurdekasvude märkimine ja mõõtmine .....	44

## SISSEJUHATUS

Selleks, et mõista meie metsades toimuvaid muutuseid peame süviti uurima metsa kasvu piduravaid ja soodustavaid tegureid. Ainult sel viisil on meil võimalik hinnata ja paremini majandada kasvavat metsa. Metsa ja keskkonnategurite paremini tundma õppides suudame tagada metsade jätkusuutliku majandamisejätkumise.

Puitu on kasutatud ehitamiseks juba aegade algusest ja tänapäeval on selle kasutusvaldkond väga lai. Puidu eeliseks teiste materjalide ees on selle kergesti töödeldavus ja vastupidavus. Üheks laialt kasutatud ehitusmaterjaliks on lehis. Lehis on sirge, kõrgekasvuline, hõreda võra ja suure vaigusisaldusega okaspuu. Lehis moodustab parasvöötme kliima alas laiasid metsamassiive. Paljud lehise liigid on majanduslikult suure tähtsusega, seetõttu nende paremaks majandamiseks tuleks läbi viia teaduslikke uuringuid. (Matras ja Pâques 2008)

Lehise puit on oma omaduste poolest tugev ja kõva. Puit on väga vaigurohke ja puidukiud suhteliselt jämedad, mistõttu on ta ka vastupidav igasugusele ilmastikule ja mädanemisele. Nagu ka männil koosneb lehise puit heledast maltspuidust, kus toimub toitainete transport ning tumedast lülipuidust, mis on suhteliselt tugev ja omab toe funktsiooni. Lülipuit on oluliselt vastupidavam ja mädanemiskindlam kui maltspuit. Lehistel võib lülipuit hakata tekkima kuni kümne aasta vanuselt. Lehisepuidu hea püsivuse tagabki lülipuidu suur osakaal, puiduvaigusus ja suur tihedus. Võrreldes teiste okaspuuliikidega moodustab lehis koos hiigelelupuu, ebatsuuga ja jugapuuga mädanemiskindluse poolest esimese rühma (Riistop 2008).

Lehis (*Larix*) on heitleheliste oksapuude perekonda kuuluv, omades 10-12 liiki (teistel andmete 20 liiki). Leviala on Euraasia ja Põhja-Ameerika parasvöötmes ning lähistroopilise Aasia mägedes, kohati ulatudes metsatundra põhjapiirini. Väljaspool looduslikku levilat metsastatakse lehistega viljakaid muldi, neid kasvatatakse rohkesti pargi- ja puistepuuna. Eestisse on toodud viis liiki ja mitu hübriidi, kõige rohkem euroopa- (*L. decidua*) ja siberi lehist (*L. siberica*) (Eesti entsüklopeedia 1990).

Euroopa lehis saavutab suguküpsuse avatud kasvualadel 15- ning kinnistel 35-40 aastasel. Euroopa lehis tüüpiliselt koloniseerib avatud maa-alasid ning värskelt häirituid pinnaseid. Olles valgusest sõltuv liik, lehis ei võistle edukalt teiste liikidega. Lehisel saavutavad püsiva ja tiheda kasvu ainult siis, kui kliimaatilised tegurid elimineerivad nende rivaalid, näiteks mägedes (Matras ja Pâques 2008). Kesk-Euroopas kasvabki lehis enam mägedes, Alpides isegi kuni 2400 m kõrgusel (Riistop 2008).

Lehis on üks kiiremini kasvavaid okaspuuliike Lääne- ja Ida-Euroopas (Matras ja Pâques 2008). Lisaks on lehise juurdekasv nii kõrgusesse kui ka läbimõõtu võrdlemisi suur. Euroopas on lehis kasvanud kuni 54 m kõrguseks ning tüve läbimõõt ulatunud 2,7 meetrini (Riistop 2008).

Lehist kasutatakse tihti seal, kus on tervisenõuete või keskkonna tõttu immutatud puidu kasutamine keelatud või piiratud, aga on vajalik suur niiskuse taluvus. Tänu lehisepuidu kõvadusele saab lehisest häid trepi- ja põrandalaudu. Samuti on kasutatud lehist juba ammustest aegadest laevade ja paatide ehitusel. Huvitava ja värvika puiduna kasutatakse teda ka siseviimistluses seinakattematerjalina. Kuigi lehisepuidu omadused on head, kasutatakse Eestis seda suhteliselt vähe. Üheks põhjuseks võib tuua info vähesus, mis hõlmab lehise omadusi. Teiseks on Eesti kaubanduses liikuv lehisepuidu valik suhteliselt kesine. Samas on lehis teeninud oma omaduste poolest suure tähelepanu ja lugupidamise.

Tänapäeva kliima on muutumas ja selle mõjul muutub ka meid ümbritsev keskkond. Kuna mets on Eesti inimeste jaoks oluliseim taastuv loodusvara ja tähtsat rolli mängib selle efektiivne majandamine, siis mõistmaks metsa arengut soodustavaid ja limiteerivaid protsesse on tarvis läbi viia erinevaid uuringuid (Niidu 2015).

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on analüüsida kliima mõju Järvelja Õppe- ja Katsemetskonnas kasvavate lehiste kõrguse ja diameetri juurdekasvule ja hinnata üksikpuude tüvemahud kahes erineva vanusega puistus. Kõrguskasvu alast uuringut Eestis kasvavate lehiste kohta pole seni tehtud.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Kuna meie planeedi kliima on muutumas, on tähtis teha ka vastavaid uuringuid ja selgitada välja kliima mõju puude kasvule. Antud töös käsitleb autor kahe erivanuses lehispuistu tüvemahu juurdekasvu ja kliimategurite mõju sellele. Lähis riikides on sarnase uurimusega välja tulnud Ozolincius (2012), kes uuris võimalike kliima mõjusid Leedus kasvavatele puuliikidele. Ta on välja toonud, et mida suurem on olnud sademete hulk seda rohkem on terveid mände. Niiskemates kasepuistudes on olnud puud tervemad kui normaalse niiskusega aladel. Ta märgib, et viimasel sajandil on keskmine temperatuur tõusnud 0,7-0,9 kraadi. Suviti esineb tihedamini põuda ja on pikenenud kevade ja sügise kestvusperiood. Lisaks avaldavad soojemad talved positiivset mõju mändide kasvule (Ozolincius 2012). Paljud aspektid kliimamuutuses ja sellega kaasnevad häiringud võivad suuresti mõjutada puistu kasvu ja produktiivust. Kliimamuutus võib mõjutada metsa häiringute sagedust ja tugevust nagu näiteks putukate järsk paljunemine, invasiivsed liigid, metsatulekahjud ja tormid. Need häiringud võivad vähendada puistu kasvu ja muuta metsas kasvavate liikide osakaalu. Mõningatel juhtudel mets võib taastuda häiringust. Teistel juhtudel aga kasvavad liigid muudavad oma areaali või surevad välja. Sellistel juhtudel uus taimestiku liik, mis asustab ala tekitab uue metsatüübi (Bodman et al. 2008).

Radiaalse juurdekasvu (rinnadiameetri kõrgusel) ja tüvemahujuurdekasvu suurenemise suhe võib erineda ajapikku puistus. Kui aastane juurdekasv hektaril suureneb, siis radiaalkasvu tüve madalamas osas hakkab vaikselt kahanema, see näitab, et puistu dünaamilisus mõjutab üksikute puude radiaalkasvu rinnadiameetril rohkem kui nende mahu kasvu. Radiaalkasvu paremat arengut saab mõjutada harvendusraiega, mis võib omakorda tekitada ohtu tuulte mõjule puistus (Mäkinen 2002).

Aastal 1980 hakati arendama erinevaid protsessipõhiseid mudeleid, et oleks võimalik simuleerida kliima muutuste ja häiringute mõju funktsioneerivale metsa ökosüsteemile. Suuremat tähelepanu sellele hakati pöörama 1990 aastate alguses. Tähtsaks eeliseks protsessipõhistel mudelitel on, et nad saavad simuleerida *mis siis kui* stsenaariumeid (Larocque 2016). Metsamudelid on võti paremaks arusaamaks pikaajalistele muutustele, keeruliste koosmõjudele muutuvates keskkonna tingimustes ja ökosüsteemi protsessides, võimaldades ennustada kliimamuutuste mõju metsa kasvule (Medlyn et al. 2011).

Lehiste tüvemahu määramisest on varasemalt räägitud suhteliselt vähe, sest paljud lehiste puistud hakkavad alles raieküpseks saama. Esialgselt kasutati kohalike olude tõttu vastavaid kasvava metsamahutabeleid vaid kase kohta. Lehiste tüvemahu mõõtmiseks on kasutatud Schiffeli, Schulzi ja Vladõsevski ja männi kasvava metsa mahutabelit. Need tabelid aga annavad väga suure erinevusega tulemusi. Näiteks on Paves (1968) on oma uurimuses välja toonud, et 23 cm jämedusega männi tüvemaht Schiffeli tabelite järgi on 13 meetri kõrgustel puudel 17,6 % suurem kui Schulzi ja Vladõsevski tabelite järgi. 25 meetri kõrguse puhul annavad aga eelnevalt nimetatud tabelid 8,8% suurema mahu kui Schiffeli tabelid. Põhjuseks toob autor välja, et Schulzi ja Vladõsevski tabelid on koostatud siberi- ja vene lehise, Schiffeli tabelid aga euroopa lehise baasil. Veel toob Paves välja oma uurimuses, et määrares tüvemahtusid vormiarvu kaudu saab lähedasi tulemusi liitvalemiga määratud mahtudele. Näiteks olid vahed vene ja kuriili lehise puhul +/-3% ning Euroopa lehise +/-10%-line. Selline erinevus on tõenäoliselt tingitud äärmuslikest kasvukohadest, mille puhul Schiffeli vormiarvu valem ei ole kõige sobivam. Valem on kasutatav aga Euroopa lehisele optimaalsetes kasvukohtades. Märkimist väärivad ka mahukõverad, mis ühistena arvatati kõikide liikide kohta, ei sobinud võrdlemisel tabelite järgi joonistatud kõveratega. Samuti ei langenud liitvalemiga määratud üksikpuude mahud arvatatud mahukõveratega kokku. Kui aga mahukõverad arvatati eraldi iga liigi kohta, sobisid nad vastavalt tabelitega: vene lehise mahukõverad ühtisid hästi Schulzi ja Vladõsevski tabelite järgi joonestatud mahusirgetega, euroopa lehisele aga olid kohasemad Schiffeli tabelid (Paves 1968).

Raiele planeeritud kasvava metsa tagavara arvutatakse tänapäeval Eestis enamasti arvutite abil. Vastavalt Eesti Vabariigi määrusele 19/112 30 juulist 1993. a. kasutatakse Eesti puu mahu määramiseks Ozolinši tüvemahu moodustajat, mille järgi arvutatakse langil kasvava metsa tagavara. Alar Lepp (1999) on oma artiklis võrrelnud erinevaid mudeleid ja mahuvalemite ning nende sobivust meie oludes. Kõikide mahuvalemite sisendparameetrid on: puuliik, puu rinnasdiameeter ja puu kõrgus. Võrreldi kolme puuliiki (kuusk, kask ja mänd). Tulemuseks sai Lepp oma uurimusel, et tegelikult ei sobiks üksi kontrollitud valem kolme võrreldud puuliigi mahtude arvutamiseks Eesti oludes. Eriti halb oli olukord kuuse puhul, kus kõikide valemite järgi arvatud kasvava metsa tagavara on kõigi diameetri rühmades tegelikust tunduvalt suurem. Eriti tugevalt hindab peenemate kuuskede mahtude üle hetkel Eestis kasutatav Ozolinši mahuvalem. Ozolinši, Laasasenaho ja Kesk-Rootsi valemite poolt arvatud puude mahtude omavahelisel võrdlemisel on näha, et kõik valmid käituvad puuliikide puhul erinevalt ning mingeid sarnasusi nende puhul välja tuua ei saa



(Lepp 1999). Veel on Eestis uurinud tüvemahtude määramist kõrguse ja rinnas diameetri järgi Rebane (1968), kes räägib oma artiklis tabelitest, mille abil saab määrata nooremate puistute kase tüvemahtusid kõrguse ja rinnas diameetri järgi. Need tabelid aitavad täpsustada nii raiutud kui ka kasvavate kaskede takseerimist. Eriti vajalik on see puhastus- ja valgustusraiel (Rebane 1968).

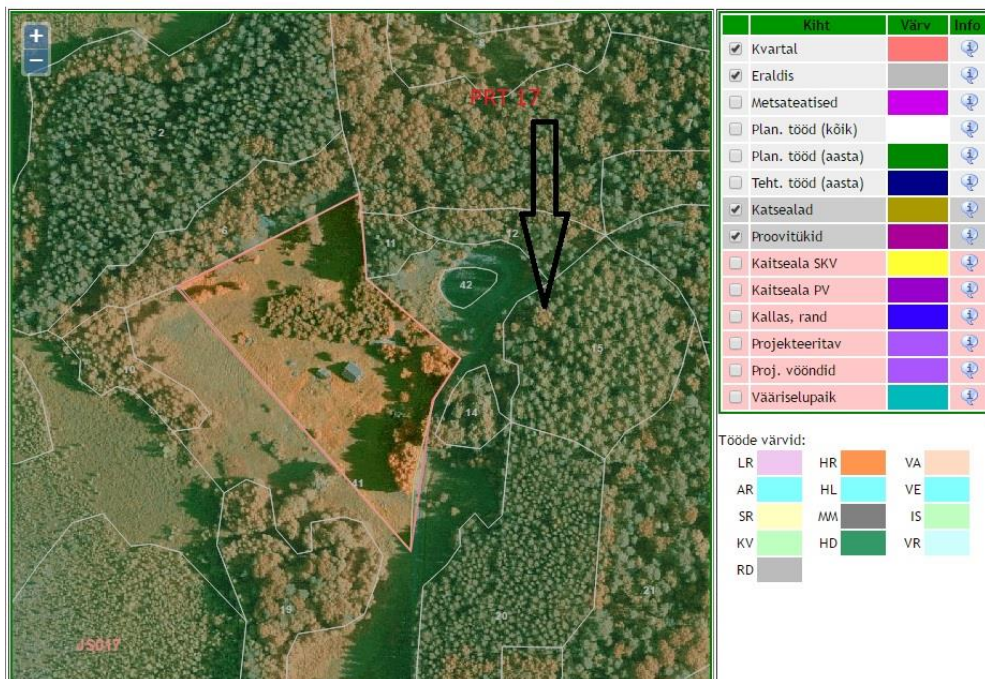
Meid ümbritsev keskkond ja kliima on pidevas muutuses. On üha enam tõendeid, et kliima on muutnud ja muutub veelgi. Omakorda avaldab see tugevat mõju metsa ökosüsteemidele, mõjutades ökofüsioloogilisi protsesse, mis juhib metsa dünaamikat (Larocque 2016). Eestile, kui parasvöötmes asuvale riigile on iseloomulik kliimaatiliste näitajate varieeruvus, neist tähtsamad on sademed ja temperatuur. Nende tegurite koosmõjust sõltub puittaimede kasvamise jõudsus (Pihelgas 1983). Kliimatingimuste muutumisi kirjeldatakse tihti läbi aastaste keskmiste temperatuuride ja sademete summaga. Temperatuuri paremaks kirjeldamiseks esitatakse tavaliselt aasta, kuude ja dekaadide keskmised temperatuurid. Avaldatakse ka vegetatsiooniperioodi pikkus päevades. Vegetatsiooniperioodiks võetakse ajavahemik, mil ööpäevane temperatuur on üle 10°C (Saarman ja Veibri 2006).

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

Magistri töös on kasutatud lehise (*Larix sp.*) analüüsipuude andmeid, mis on kogutud Järvelja Öppe- ja Katsemetskonna kahe erineva vanusega lehise kultuurpuistult, vastavalt JS017-15 (Kasesalu rajatud katseala) ja JS279-7 (Hordo ja Kängseppa rajatud prooviala). Analüüsipuud on võetud teadusprojekti raames, teema „Lehise puistute kasvukäik ja majandamine Järveljal“. Autor osales andmete kogumisel ja mõõtmistel. Alade JS017-15 ja JS279-7 analüüspuude andmed on kogutud Eesti Maaülikooli metsakorralduse osakonna töötajate ja tudengite poolt, välitööd teostati st analüüsipuud võeti vastavalt JS017-15 puistust 2014. aasta veebruar ja JS279-7 puistust 2015. aasta mai. Väga suureks abiks on olnud nooremteadur Vivika Kängsepp, kes osales nii väli- kui labortöodel. Töös kasutatud kliimaandmed on saadud Järvelja ja ilmajaamast (vaatlusandmete periood 1979-2014).

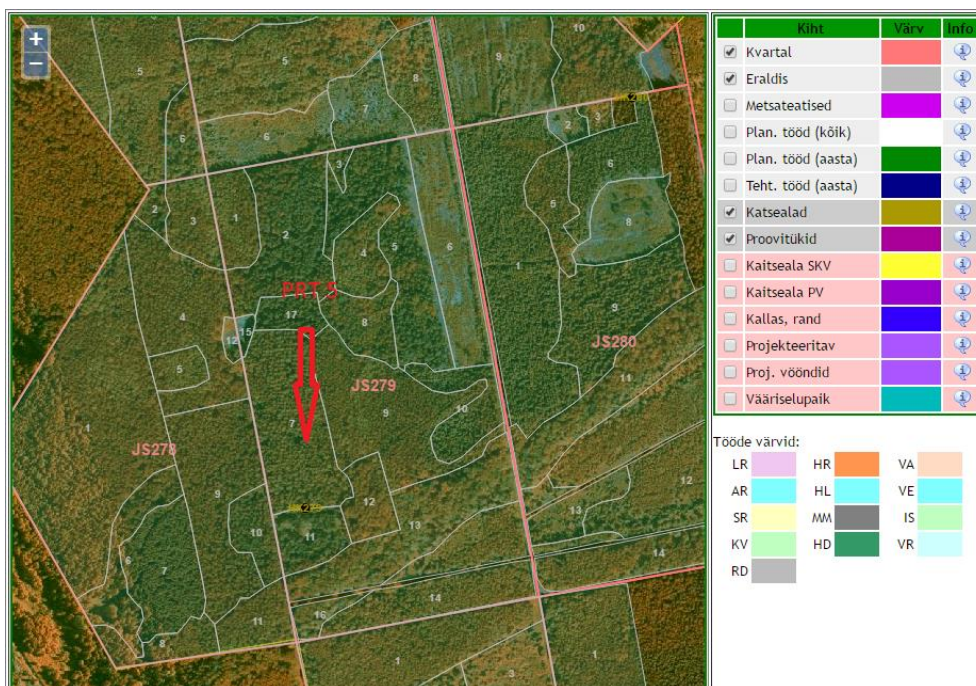
### 2.1. Proovialade kirjeldus

Prooviala JS017-15 (joonis 1) mõõtmistööde ja eelneva uurimisega on tegelenud Heino Kasesalu. Katseala ajaloost on teada, et tegemist on ligi poole hektari suuruse lehisekultuuriga, mille rajasid üliõpilased 1951. aasta maikuus. Kasutades endist põllumaad, istutati 4- aastased taimed 3 x 5 m seaduga. 1998. aasta detsembris rajati kultuuri 0,12 ha suurune proovitükk. Selle järgi oli 51 a puistu keskmine kõrgus 31,1 m, rinnasdiameeter 36,8 cm, puude arv hektaril 350 ja tagavara 510 tm/ha (Kasesalu 1999). Lehiseliikidest moodustavad enamuse jaapani lehis (*L. kaempferi*) ja vördlehis (*L. eurolepis*). Vähesel määral esineb vene- (*L. russica*) ja kuriili lehist (*L. kurilensis*). 2008. a rajati kultuuris 0,28 ha suurune proovitükk. Selle järgi oli puistu keskmine kõrgus 61-aastaselt 33,4 m, rinnasdiameeter 34,6 cm, puude arv hektaril 400 ja tagavara 583 tm/ha. Mõningad lahkuminekid puude arvus ja keskmises diameetris on seletatavad asjaoluga, et eelmine proovitükk (0,12 ha) oli võetud puistu kõige parema kasvuga osas, kus kasvasid peamiselt jaapani ja vördlehis. Uue proovitüki (0,28 ha) sisse jäi ka puistu äärealasid, kus puude kasv on mõnevõrra nõrgem. 2012. a sügisel raiuti hooldusraie korras puistust välja 100 tm/ha. Viimase takseerikirjelduse järgi on teada, et kvartalil JS017 eraldise 15 pindalaks on 8ha ning kasvukohatüübiks on jänesekapsa ja peapuuliigiks on lehis (*Larix sp.*).



**Joonis 1.** Proovitüki JS017 eraldis 15 asukoht Järvelja Metsandusinfosüsteemi kaardil

2014. aasta sügisel, eelpool nimetatud teadusprojekti raames, rajasid Maris Hordo ja Vivika Kängsepp ringproovitüki puistusse JS279-7 (joonis 2). Rajati vastavalt Kiviste ja Hordo (2002) metoodikale, et oleks lihtsam teostada kordusmõõtmisi viieaastase intervalliga. Vastavalt viimasele takseerikirjeldusele on kvartalil JS279 eraldise 7 pindalaks 2,18 ha. Kasvukoha tüübiks on samuti jänesekapsa ja peapuuliigiks on lehis (*Larix sp.*).



**Joonis 2.** Proovitüki JS279 eraldis nr 7 asukoht Järvelja Metsandusinfosüsteemi kaardil

## **2.2. Analüüspuude langetamine ja mõõtmised**

Analüüspuud raiuti proovialal JS017-5 2015 aasta veebruaris ja JS279-17 maikuus 2014 aastal. Välitöödel esmalt valitud seisvatelt puudelt mõõdeti tüvel rinnasdiameetrid ja puude kõrgused ning märgiti tüvele põhja suund. Järgmiseks toimus puude langetamine-laasimine, kogu tüve ulatuses põhja suuna märkimine ja tüve pikkuse mõõtmine meetrites. Vastavalt tüve pikkusele jagati puu tüvi 10 võrdseks osaks, lisaks 1,3 m (rinnasdiameetri) kõrguselt ja oksaraja alguse kõrgus märgiti tüvel ketaste võtmiseks. Edasi tüvi järgati ning iga noti otsast võeti ketas, mis märgistati vastavalt analüüsipuu numbrile ja ketta asukohale (näiteks LH1-0 analüüsipuu number 1, 0-ketas juurekaelalt; LH1-D1.3 rinnaskõrguselt ketas; LH1-A kuni LH1-J). Säilitada tuli ka latv, et komplekteerimisel oleks võimalik mõõta puu võimalikult täpset pikkust. Peale seda toimus transport Eesti Maaülikooli laborisse, mis asub aadressil Tartus Kreutzwaldi 56 (Lisa 3).

## **2.3. Analüüslaudade ja -ketaste töötlemine**

Et saaks radiaal- ja kõrguskasve analüüsketastelt ja -laualt mõõta, on vaja lauad eelnevalt lõigata ja kettad ette valmistada. Aastarõngaste laiuste esialgse suuruse säilitamiseks hoiti kettaid Kreutzwaldi 5 hoone külmikutes (Lisa 4). Parema mõõtmistäpsuse saavutamiseks analüüsipuude aastarõngad kettal lihviti. Suuremate ketaste puhul sai lõigatud põhja-lõuna suunas säsist kettast proovi riba, et oleks võimalik andmeid lugeda (Lisa 5). Igal kettal mõõdeti vähemalt kahest suunast (koorest säsini) aastarõngaste laiused (sh. vara- ja hilispuidu laiused) ning saadud aastarõngaid võrreldi kohe omavahel (aastarõngaste arv pidi olema sama mõlemas suunas). Lehise kettad valmistas ette st lihvis ja aastarõngaste laiused mõõtis Lintab süsteemiga mikroskoobi all nooremteadur Vivika Kängsepp. Lehiste aastarõngad ristdateeriti ning edasine andmetöötlus toimus programmiga R.

Kõrguskasvude mõõtmiseks, notid (palgid) lõigati pooleks, saadi analüüslauad. Noti lahti lõikamisel jälgiti, et lõige tehti puutüvel märgitud põhja-lõuna suunas. Lõikus toimus lintsaeramiga. Võimalikult hea tulemuse saamiseks üritati lõigata nott lahti säsi keskelt.

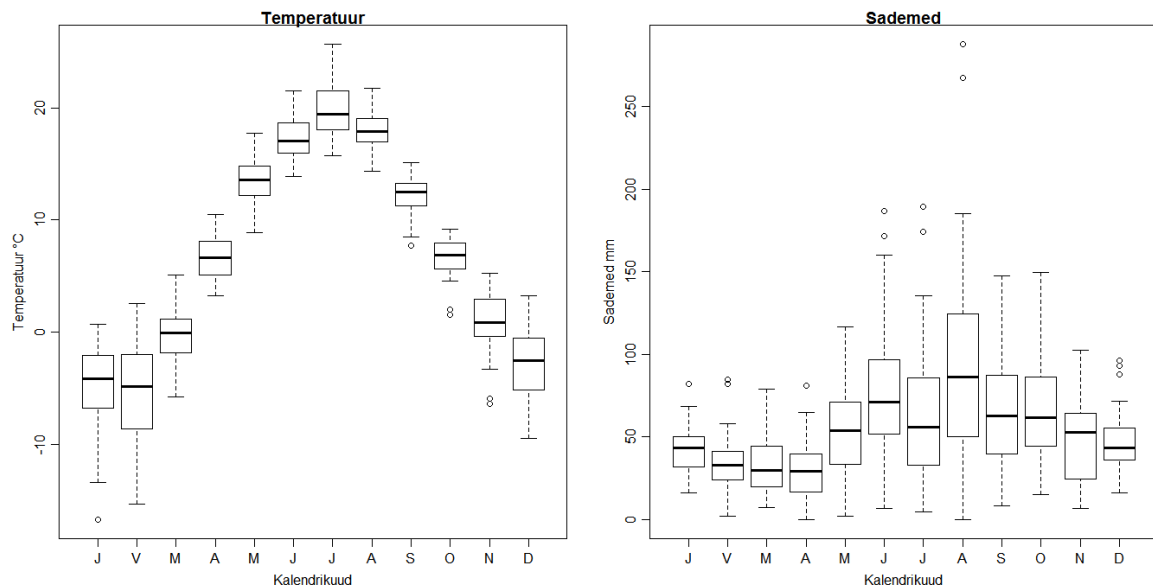
Olenevalt notti suurusest tuli teostada väiksematel nottidel lõige ja suurematel mitu. Väiksemate nottide puhul saeti nott kaheks, et oleks võimalik mõlemalt poolt mõõta aastakasve. Osad notid aga olid diameetrilt suured, nende puhul lõigati ligikaudu 5cm paksune laud tüve keskelt, et oleks kõrgus ja radiaalkasvude dateerimiseks hiljem puud komplekteerida (Lisa 7).

## **2.4. Kõrguskasvude mõõtmine**

Pärast laudade lõikamist oli võimalik hakata notte kokku komplekteerima ja kõrguskasve mõõtma. Kõrguskasvude mõõtmiseks valiti pooleks lõigatud notist parem pool ja toimus kõrguskasvude mõõtmine ristlõikepinnalt. Notid laotati üksteise järgi ja lisati ka latv. Ladvale ja lahti lõigatud laudadele/palkidele märgiti männaste kohad markeriga ja mõõdeti võimalikult täpselt. Komplekteerimine osutus keeruliseks, kuna osadel nottidel olid maha kulunud märgistused ja osad ladvad ei tahtnud langetamisel tekkinud vigastuste ja kuivamise käigus tekkinud muutuste tõttu hästi sobituda. Kontrolliks kasutati 0-ketastelt (juurekaelalt) loetud aastarõngaste arve, mis pidid omavahel kattuma (Lisa 8).

## **2.5. Ilmastikuandmed**

Töös on kasutatud Järvelja ilmajaama kuukaupa keskmiste temperatuuride °C ja sademete summa, vaatlusperioodiks 1979-2014. Joonisel 3 on välja toodud uuritava perioodi kuude keskmiste temperatuurid ja sademete summad. Antud perioodi kõige sademete rohkem kuu oli august ning kõige sademete vaesem aprill. Perioodi kõige soojem kuu oli juuli ja kõige külmem kuu oli veebruar. Analüüsis kasutati sademete summasid mm ja temperatuuri °C keskmisi kuude kaupa (J ... D – eelneva kasvuaasta juuli kuni detsember, j ... d – kasvuaasta jaanuarist kuni detsembrini).



**Joonis 3.** Järvelja ilmastiku andmed perioodil 1979-2014. Kalendrikuude keskmised temperatuurid ja sademete summad. Tulemuste keskmisi tähistavad joonistel horisontaalsed jooned. Ekstreemseid väärtused on väljatoodud ringidena ja riskülikud tähistavad alumise- ja ülemise kvantiili vahemikku

Varasemalt on välja toodud Kasesalu ja Kiviste (2001) artiklis, et vahemikus 1960-1998 on pikaajaline keskmine temperatuur olnud Järvelja ilmajaama andmetel 5,7 C. Absoluutne miinimum sel ajavahemikul on olnud -38,7 C ja absoluutne maksimum +34,8 C. Kevadised öökülmad saavad tavaliselt läbi 15-ndks maiks ja algavad alles septembri lõpus, kuigi on ka olnud erandeid. Kül mavaba perioodi pikkuseks on ligikaudu 136 päeva. Keskmine aastane sademete summa on 650mm. Järvelja ilmastik on suuresti mõjutatud Peipsi järve lähedusest, sellega kaasneb ka kõrge mullaniiskuse tase (Kasesalu ja Kiviste 2001 ).

## 2.6. Andmetöötlus

Analüüsipuude andmete andmetöötlus ja analüüs viidi läbi R keskkonnas (R Development Core Team 2017), kasutades dendrokronoloogiliste uuringute jaoks spetsiaalselt valmistatud pakette *dplR* (Bunn 2017) ja *treeclim* (Zang ja Biondi 2016). Mõlema ala kohta arvutati radiaal ja kõrguskasvude seerialtel järgmised statistikud: Gini koefitsient (mitmekesisus e. vaheldusrikkus juurdekasvuseeriates), keskmine tundlikkus (MS – *mean sensitivity*), keskmise kronoloogia vastavus hüpoteetilisele (EPS - *Expressed Population Signals*) ning märgi test (Glk – *Gleichläufigkeit*).

Edasi detrenditi puude aastarõngaste seeriad ja kõrguse juurdekasvud *spline* funktsiooni (Bunn 2017) abil. Seega lehisepuude aastarõngaste laiused ja kõrguse juurdekasvud standardiseeriti ning saadi diameetri ja kõrguse indeksid ehk kronoloogiad alale JS017 ja JS279. Standardiseerimine on protsess, mille käigus kõrvaldatakse aastarõngaste mõõdetud omaduste aegreast ebavajalik pikaajaline varieerumine, jaotades tegelikud analüüsandmed statistiliselt saadud võrrandi vastustega, mis seostab vanuse kasvuga. Üritatakse kõrvaldada nii vananemisprotsessidest ja metsakoosluse muutustest tingitud kasvutrendid (Länelaid 1999).

Järgnevalt tehti *treeclim* paketi (Zang ja Biondi 2016) abil korrelatsioonanalüüsid kliima ja radiaal- ning kõrguskasvude vahelise seose uurimiseks, kus kasutatakse *bootstrap* meetodit. *Bootstrap* meetodit on dendroklimatoloogilistes uuringutes üsna laialdaselt viimasel ajal kasutatud, sest seda soovitatakse kasutada olukordades, kus hinnatavate parameetrite jaotus ei ole teada, on liiga keerukas või valimi maht on täpsete tulemuste saamiseks liiga väike (Remm 2012, Zang 2013, Zang ja Biondi 2016). Näiteks 95% usalduspiiride jaoks leitakse saadud *bootstrap* hinnangute jaotuse 2,5 % ja 97,5 % kvantiilid.

Eestis kasutatakse hetkel Ozolinši tüvemahu moodustajat (RT I 2008), kuid paljud uuringud on näidanud, et see annab Eestis kasvavatel puudel tagavara hindamisel süstemaatilisi vigu. Kuna hetkel üksikpuude andmetel lehise tüvemoodustaja puudub, siis antud töös arvutati Soome metsateadlase Laasasenaho (1982) männi tüvemoodustaja mudeli ja Padari mudeli (1993) järgi tüvemahud üksikpuudele.

Laasasenaho (1982) mudel on leitud valemi abil:

$$v = \frac{(0,36089 * d^{2,01395} * (0,99676)^d * h^{2,07025} * (h-1,3)^{-1,07209}}{1000} \quad (1)$$

kus h – puu kõrgus, m; d – puu rinnasdiameeter, cm;

Padari (1993) mudel on leitud valemi abil:

$$v = \pi * d^2 * h * \left( \frac{\beta_1 + \frac{\beta_2}{d} + \frac{\beta_3}{h} + \frac{\beta_4}{d * h}}{4000} \right) \quad (2)$$

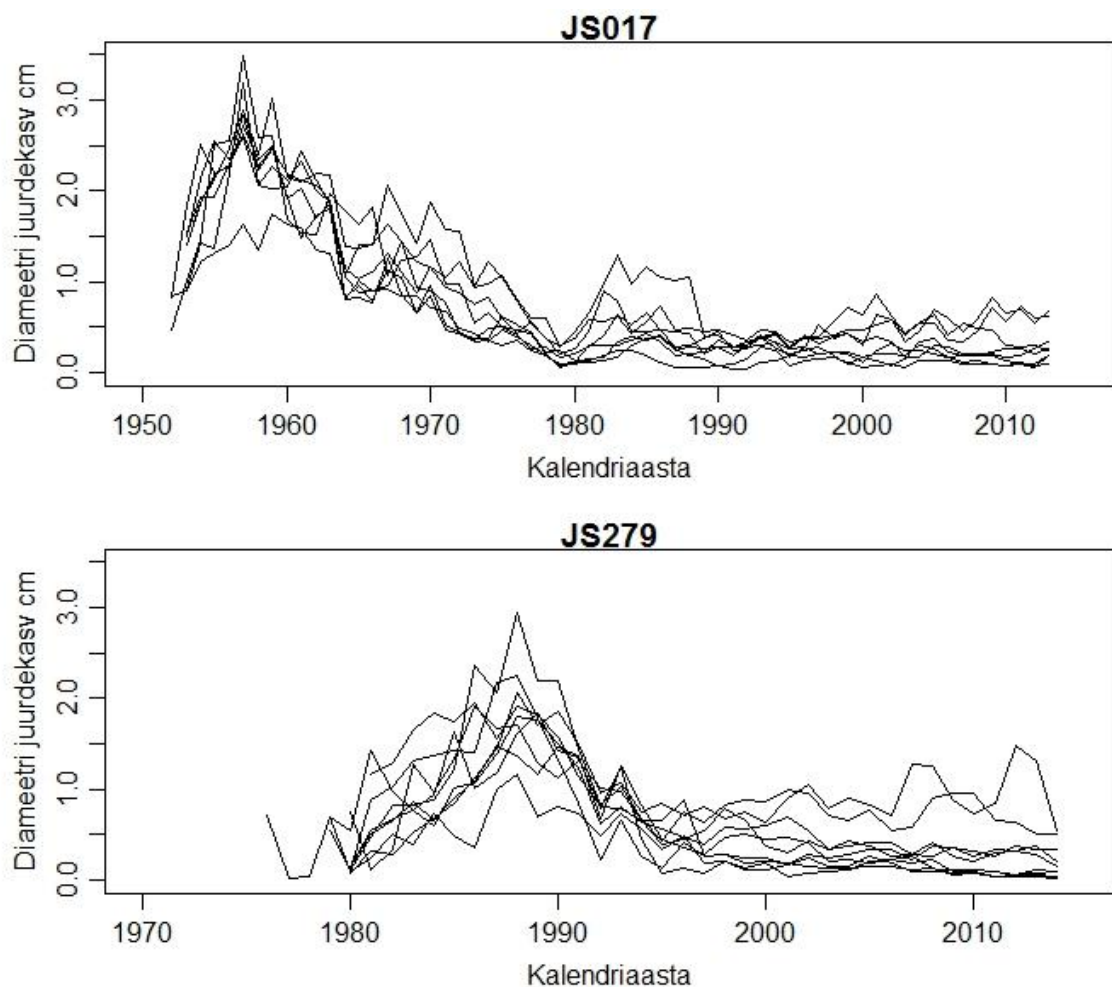
kus h – puu kõrgus, m; d – puu rinnasdiameeter, cm



### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

#### 3.1. Lehiste kasv

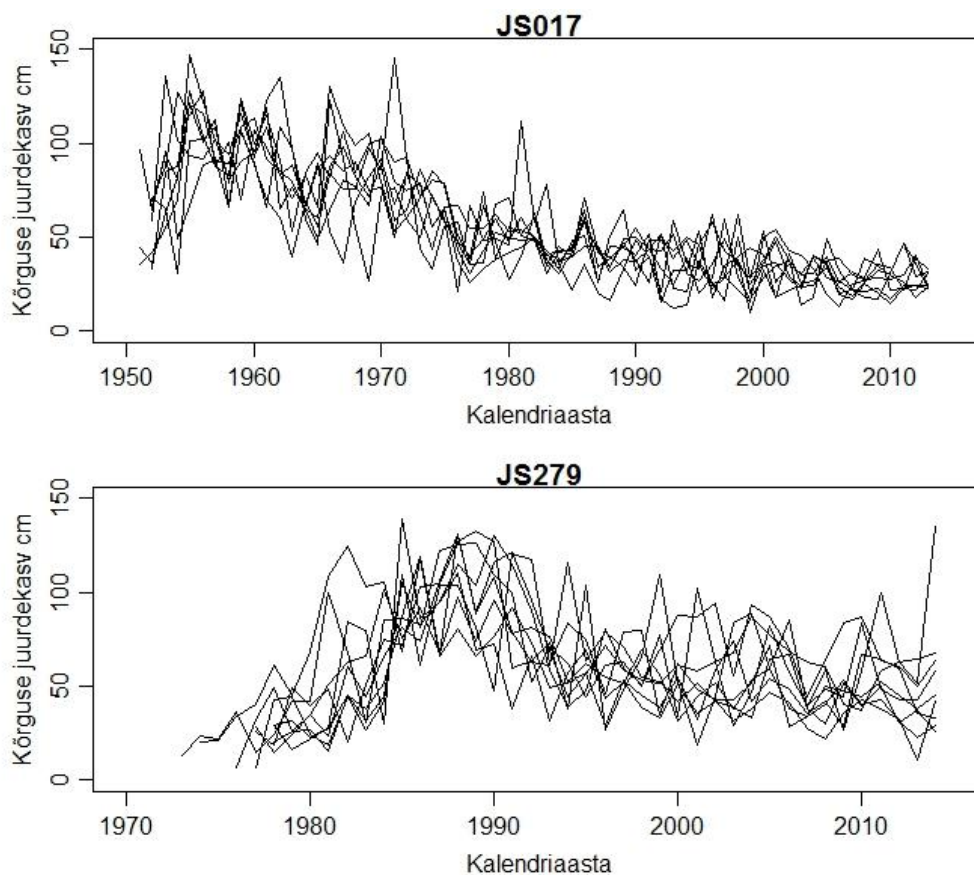
Proovialadel JS017 ja JS279 analüüsiti vastavalt kaheksa (LH1 kuni LH10, jäeti välja puud LH4 ja LH9) ja seitsme (LH11 kuni LH20, analüüsist jäeti välja LH15) analüüsipuu radiaal- ja kõrguskasve, toodud joonistel 4 kuni joonis 7. Jooniselt 4 on näha, et proovialal JS017 on diameetrite juurdekasv on kasvu algusaastatel (nooremas eas) ehk siis perioodil 1951-1955 olnud kiirem ja peale seda on hakanud juurdekasv langema, kasv on ühtlustunud. Proovialal JS279 on diameetrite kiirem juurdekasvu periood olnud pikem, vahemikus 1978-1988.



**Joonis 4.** Proovialade JS017 ja JS279 lehise analüüsipuude diameetrite juurdekasvud kogu kasvuperioodil.



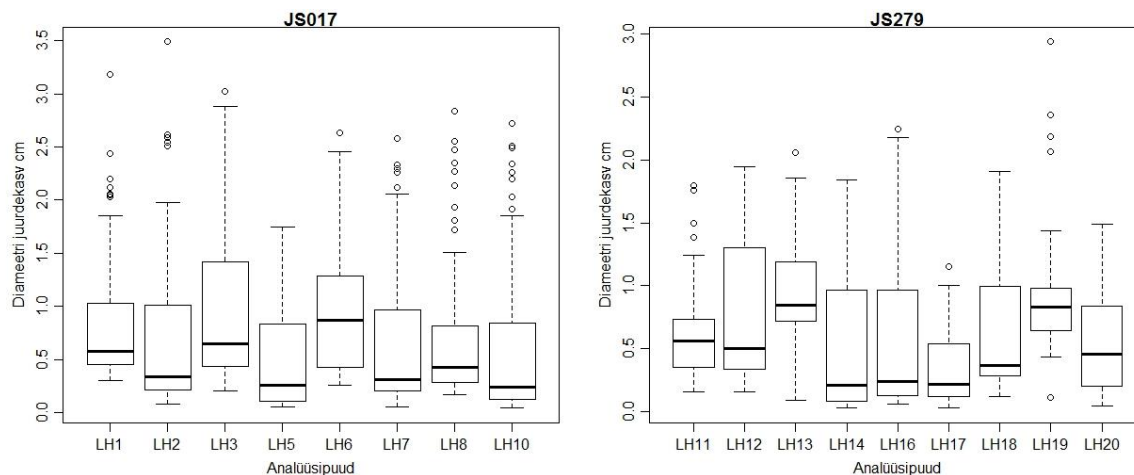
Joonisel 5 on näha, et proovitükil JS017 on viiekümnendate keskel enamuses analüüsipuudel kõrguse juurdekasv ületanud 100 cm. Pärast seda toimub ühtlane langus kõrgus juurdekasvudes. Juurdekasvude seeria stabiliseerub alles hilisematel aastatel. Välja võiks tuua ajavahemiku 1983-1987, kus kõrguskasvud on üsna sarnase tulemiga. Proovialal JS279 on näha, et toimub kiire kasv aastani 1988, kus enamus puid on 14 aastased. Kõige suurem oli kõrguskasv puudel 80ndate keskelt kuni 90ndate alguseni ning pärast seda hakkavad enamuses analüüsipuudel kõrguskasvud vähenema. Nagu jooniselt 5 näha, siis on kõrguskasvude kõikumine puudel suhteliselt suur. Osadel puudel on näha erinevate aastatel kõverate sarnasusi aga leidub ka erandeid. Välja võiks tuua aasta 2005, kus kõikidel puuliikidel on märgata sarnane kõrguskasvu suuremine.



**Joonis 5.** Lehist kõrguskasvud proovialadel JS017 ja JS279

Joonisel 6 on toodud vastavalt proovialade kaupa üksikpuude diameetrite juurdekasvud. Kõige madalam (mediaan) diameetri juurdekasv (ligikaudu 0,25 cm) analüüsipuul LH5 alal JS017 ja puudel LH14, LH17 alal JS279. Suurim mediaan-keskmise diameetri juurdekasv

on puudel LH6 (0,9 cm) ja LH13 (0,8 cm). Analüüsipuudel LH8 ja LH10 esines enim erindeid (ekstreemsed väärtused) joonisel 6.

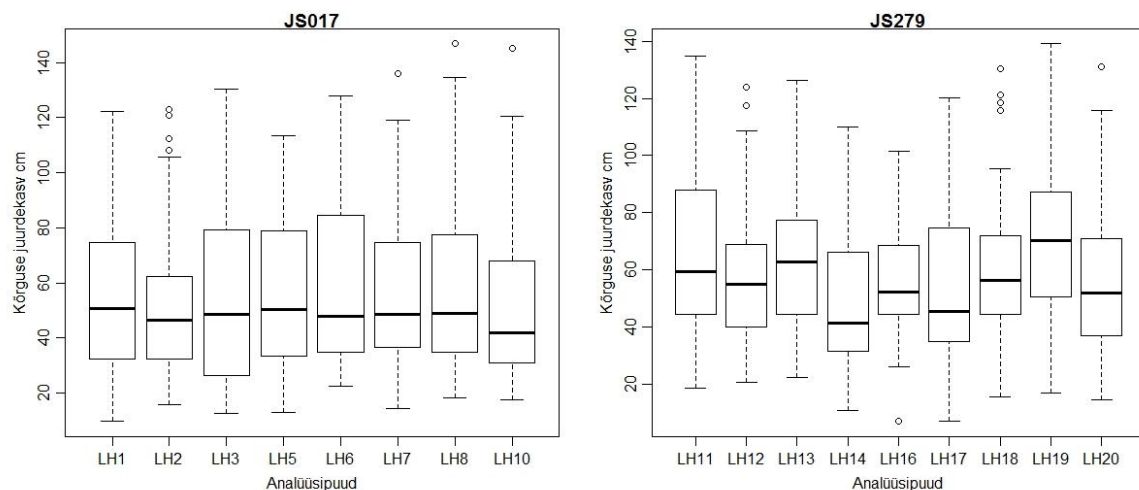


**Joonis 6.** Diameetri juurdekaskvu võrdlemine puude kaupa aladel JS017 ja JS279. Ekstreemseid väärtused on väljatoodud ringidena ja riskülikud tähistavad alumise- ja ülemise kvantiili vahemikku

Jooniselt 7 on esitatud kõrguse juurdekaskvu analüüsipuude kaupa. Kõige suurem kõrguse juurdekaskv on olnud puudel LH11 ja LH19, mis on ületanud 130 cm piiri ja LH13, mille keskmine kõrguskaskv on olnud suhteliselt pikk. Kõige lühemad on olnud kõrguskaskvud puudel LH14 ja LH17, neil jääb nii keskmine kui ka minimaalne kõrguskaskv suhteliselt lühikeseks. Alal JS017, kus tegu on vanema puistuga, oli keskmine juurdekaskv puude vahel suhteliselt stabiilne, jäädes 50cm piirdesse. Samuti ei olnud suuri erinevusi minimaalsete kõrguskaskvude seas. Kõige pikemad kõrguse juurdekaskvud olid puudel LH3 ja LH8, kus ületati 130cm piir. Ekstreemseid väärtusi esines analüüspuudel LH10, LH2, LH7 ning LH8. Maksimaalne kõrguskaskv 146,85 cm mõõdeti puul LH8 ja puul LH17 minimaalne aastane kõrguskaskv 6,85 cm.

Tabelis 1 on välja toodud analüüsipuude radiaal- ja kõrguskaskvu kirjeldavad statistikud, andmete usaldusväärsuse kirjeldamiseks. Gini koefitsient ehk ebaühtlus koefitsient (Bunn, et al. 2017; Biondi 2008). Alal JS279 oli see vahemikus 0,512...0,587 ja alal JS017 0,481...0,593. EPS ehk keskmise kronoloogia vastavus hüpoteetilisele. Kui EPS väärtus langeb alla 0,85, ei saa neid enam kliimaanalüüsis kasutada kuna seeriade vaheline kooskõla pole enam väga hea (Wigley et al. 1984). Autor sai antud töös EPSi tulemused alal JS279

vahemikus 0,874...0,965 ja alal JS017 0,954...0,982. Mõlemad tulemused ületavad väärtuse 0,85, mis tähendab, et seeriad on heas kooskõlas ja andmed on sobilikud kliimaanalüüsiks. MS ehk keskmine tundlikkus näitab puu aastarõngaste laiuste suhtelist muutumist aastast aastasse (NOAA 2017). Tulemused tulid alal JS279 vahemikus 0,225...0,488 ja alal JS017 0,179...0,285, mis on lubatud piirides (0,150...0,650), mida väiksemad on tundlikkuse naturaalkväärtus seda sarnasemad on puude aastarõnga väärtused (NOAA 2017). Glk (Gleichläufigkeit) ehk märgitest näitab head kooskõla seeriade vahel. Alal JS279 oli see vastavalt vahemikus 0,667...0,699 ja alal JS017 0,628...0,651, mõlemad jäävad vahemikku mis näitavad, et kooskõla on hea.



**Joonis 7.** Kõrguse juurdekasvu võrdlemine puu kaupa aladel JS017 ja JS279. Tulemuste mediaan-keskmist kõrguskasvu tähistavad jämedamad horisontaalsed jooned. Ekstreemseid väärtused on väljatoodud ringidena ja riskülikud tähistavad alumise- ja ülemise kvantiili vahemikku

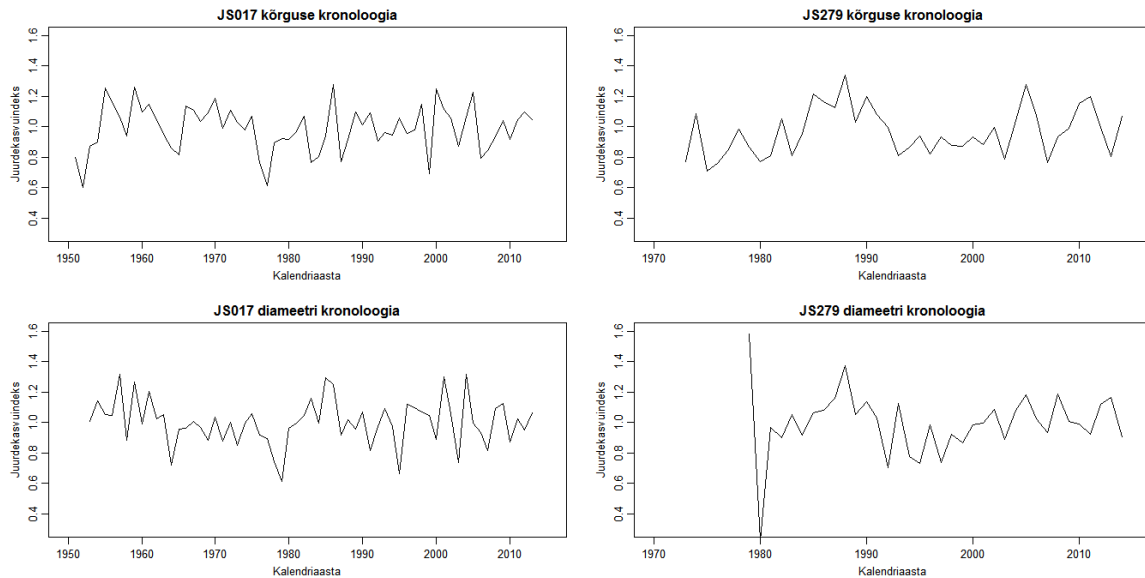
**Tabel 1.** Proovitükke iseloomustavad statistilised näitajad, vastavalt radiaalkasvu (d; aastarõngaste laiused) ja kõrgusekasvu (h) kohta

Kvartali nr.	Eraldis	Tunnus	Periood	MS <sup>1</sup>	Gini <sup>2</sup>	Glk <sup>3</sup>	EPS <sup>4</sup>
JS279	7	d	1973-2014	0,225	0,587	0,667	0,965
JS017	5	d	1951-2013	0,179	0,593	0,628	0,982
JS279	7	h	1973-2014	0,488	0,512	0,699	0,874
JS017	5	h	1951-2013	0,285	0,481	0,651	0,954

MS<sup>1</sup>-keskmine tundlikkus, Gini<sup>2</sup>-ebaühtlus koefitsient, Glk<sup>3</sup>-märgitest, EPS<sup>4</sup>- keskmise kronoloogia vastavus hüpoteetilisele

Joonisel 8 on toodud proovialade kaupa kõrguse ja diameetri kronoloogiad (juurdekasvuindeksid). Kõrguse ja diameetri juurdekasvu indekseid vahel leiti

korrelatsioonid, mis näitavad, et sama ala diameetri- ja kõrguse juurdekasvuindeksite vahel on statistiliselt oluline seos. Korrelatsioonikordaja on küll madalad, kuid *p-value* on alla 0,05. Kõrgusindeksite vaheline  $R=0,3002$  ja *p-value* = 0,01876 ning radiaaljuurdekasvu indeksite vaheline  $R=0,3384348$ , *p-value* = 0,04349.

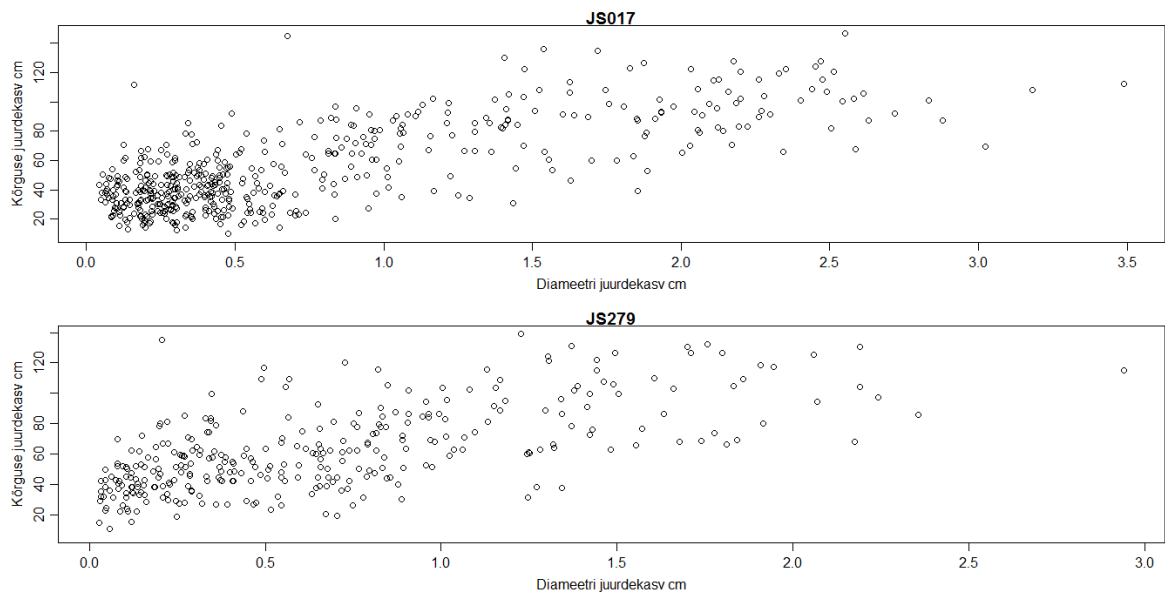


**Joonis 8.** Ülemised mudelid kujutavad kõrguse- ja alumised diameetri juurdekasvuindeksite kronoloogiat, proovitükkidel JS017 ja JS279. Vertikaalteljel on kujutatud juurdekasvu indekseid ja horisontaalteljel kasvuaastaid. Kronoloogia on koostatud proovitükil JS017 aastatele 1951–2013 ja proovtükil JS279 1973–2014 vahemiku kohta

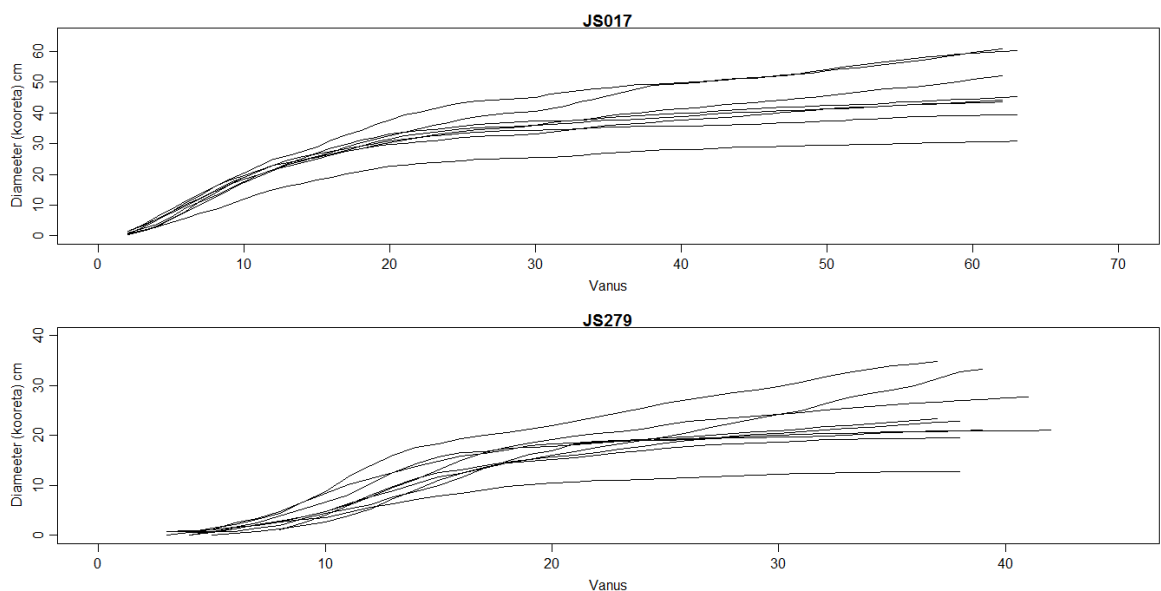
### 3.2. Tüvemahu leidmine

Joonisel 9 on toodud võrdluseks kõrguse ja diameetri juurdekasvude vaheline seos. Esmane lineaarne regressioon näitas, et tunnuste vaheline seos on statistiliselt oluline *p-value* on alla 0,05 ja  $R^2 = 0,5643$  alal JS017 ning *p-value* on alla 0,05 ja  $R^2 = 0,4228$  alal JS279.

Jooniselt 10 on näha vanema ja noorema puistu diameetri sõltuvust vanusest. Mõlema puistu puhul on olnud 2-3 puud mis on kas esimestest kasvuaastatest või 10 kasvuaastast teistest puudest kasvust maha jäänud või vastupidiselt ette läinud.

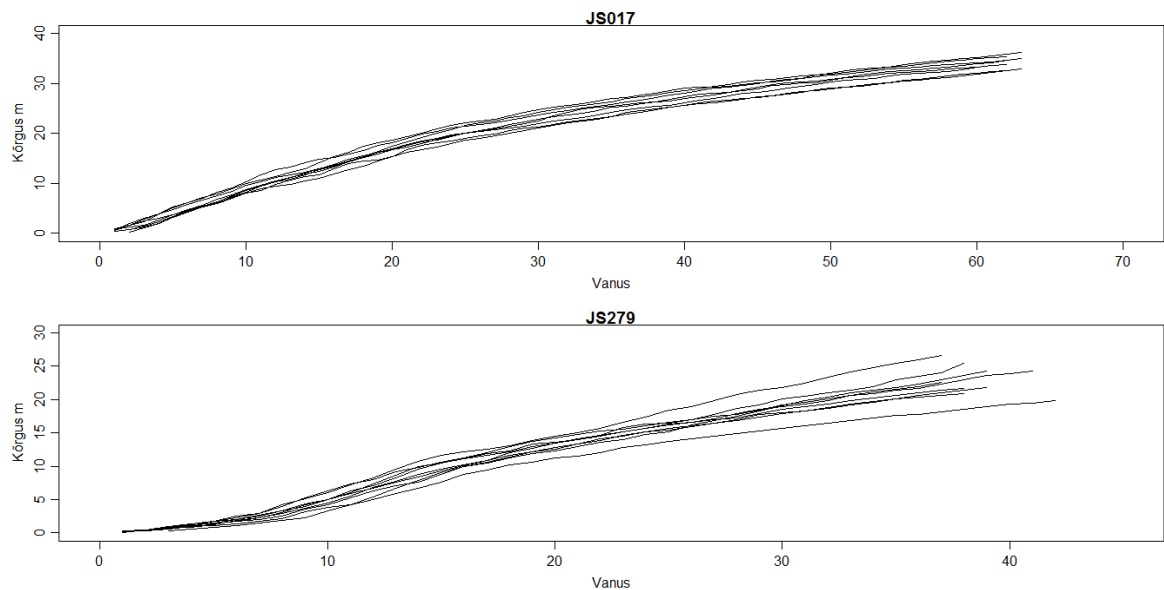


**Joonis 9.** Kõrguse juurdekasvu ja diameetri juurdekasvu võrdlus proovitükkide kaupa. Vertikaalteljel on lehise kõrguse juurdekasv cm ja horisontaalteljel diameetri juurdekasv cm



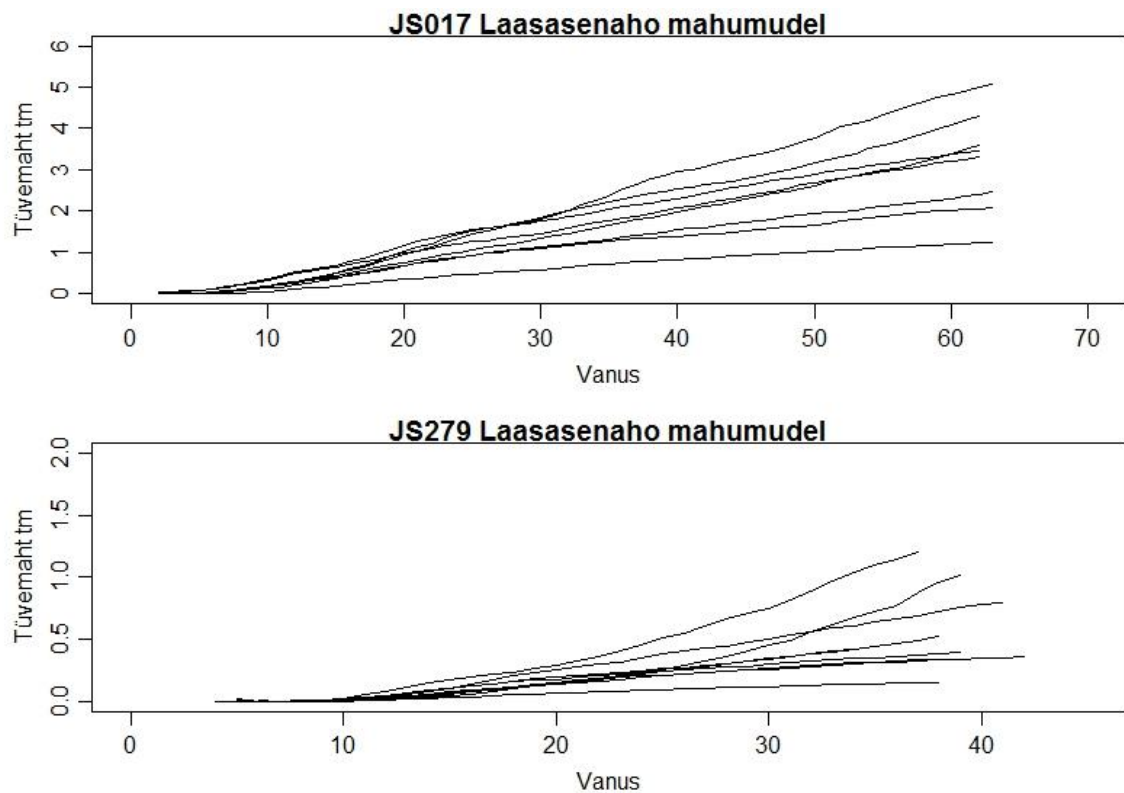
**Joonis 10.** Diameetri muutumine vanusega. Vertikaalteljel on lehise diameeter(kooreta) cm ja horisontaalteljel vanus aastates

Jooniselt 11 on näha lehiste kõrguste muutumist seose vanuse kasvuga. Vanemal puistult raiutud puude puhul on tegemist stabiilsema kasvukõveraga kui noorema puhul, kus osad puud on teistest kasvust maha jäänud või ette läinud.



**Joonis 11.** Kõrguse muutumine vanusega. Vertikaalteljel on lehise kõrgus m ja horisontaalteljel vanus aastates

Jooniselt 12 on toodud Laasasenaho (1982) tehtud mahumudelite võrdlust proovtükidel JS017 ja JS279. Tulemused Padari ja Laasasenaho tüvemahumudelite vahel erinesid prooviaaladel väga vähe, seega on esitletud ainult Laasasenaho mudel.

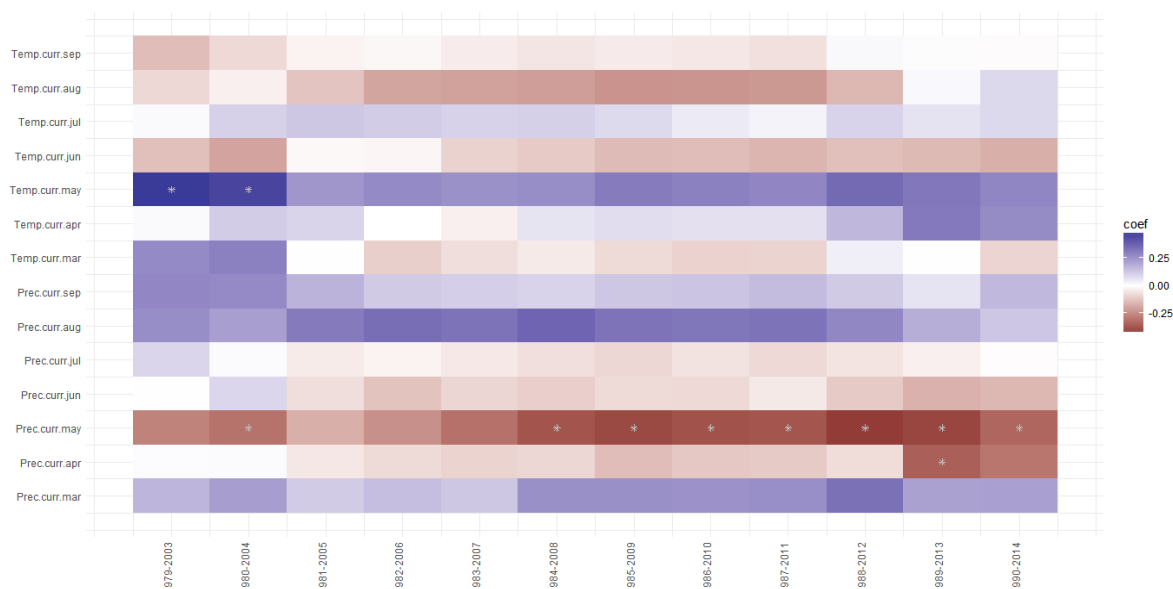


**Joonis 12.** Laasasenaho mahumudeli aladel JS017 ja JS279. Vertikaalteljel on lehise tüvemaht tm ja horisontaalteljel vanus aastates

### 3.3. Ilmastiku mõju puude radiaalkasvule

Joonistel 13 kuni 18 on esitatud ilmastikunäitajate ja lehiste radiaalkasvude vahelised seosed. Analüüsiti eelneva kasvuaasta märtsist kuni kasvuaasta septembrikuu keskliste temperatuuride ja sademete mõju lehiste radiaalkasvudele proovialade kaupa, perioodil 1979-2014.

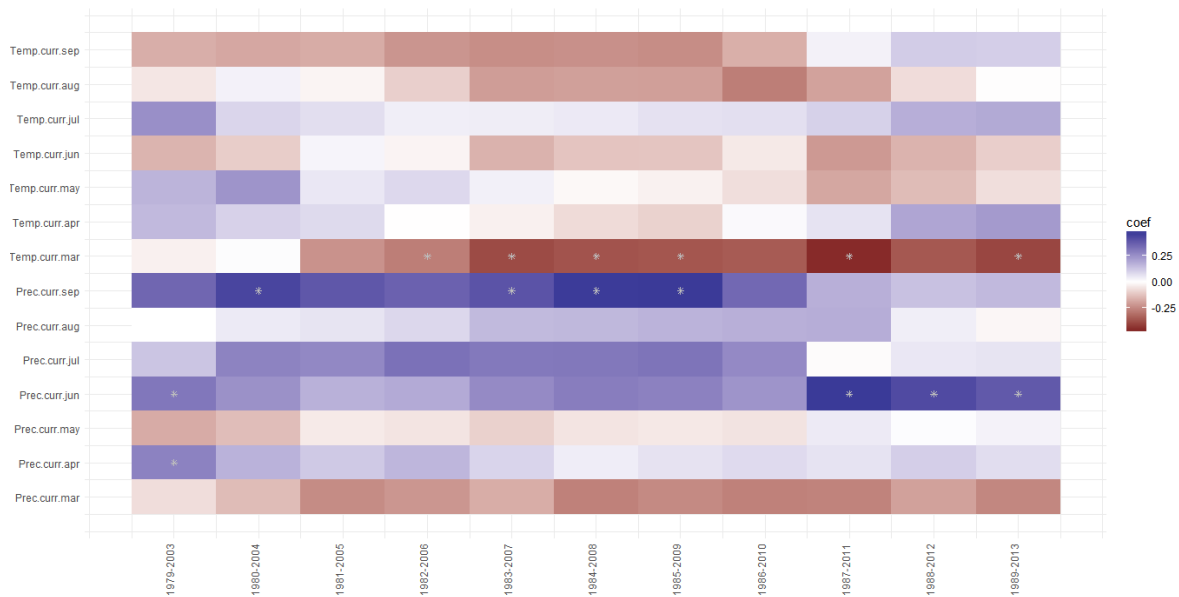
Joonistel 13 ja 14 on näha libiseva korrelatsioonanalüüsiga leitud ilmastiku mõju radiaalkasvule alates 1979 aastast, vastavalt alal JS017 ja JS279. Vaadeldav *aken* on 25 aastase sammuga. Viimastel aastatel on tunduvalt nõrgenenud temperatuuri mõju radiaalkasvule septembris ja augustis, kus temperatuuri mõju on muutunud negatiivsest positiivseks alal JS279. Positiivne mõju radiaalkasvule on ilmnenu aprilli ja maikuu keskliste temperatuuri ning märtsi sademetega. Alates 1981-st on maikuu sademed negatiivset mõju hakanud avaldama analüüspuude radiaalkasvule, sarnast trendi võib näha aprillikuu sademetega joonisel 13.



**Joonis 13.** Libiseva keskmisega korrelatsioon alal JS279. Sinisega on toodud välja positiivsed koefitsiendid ja punasega negatiivsed. Tärniga on märgitud statistiliselt olulised ajavahemikud

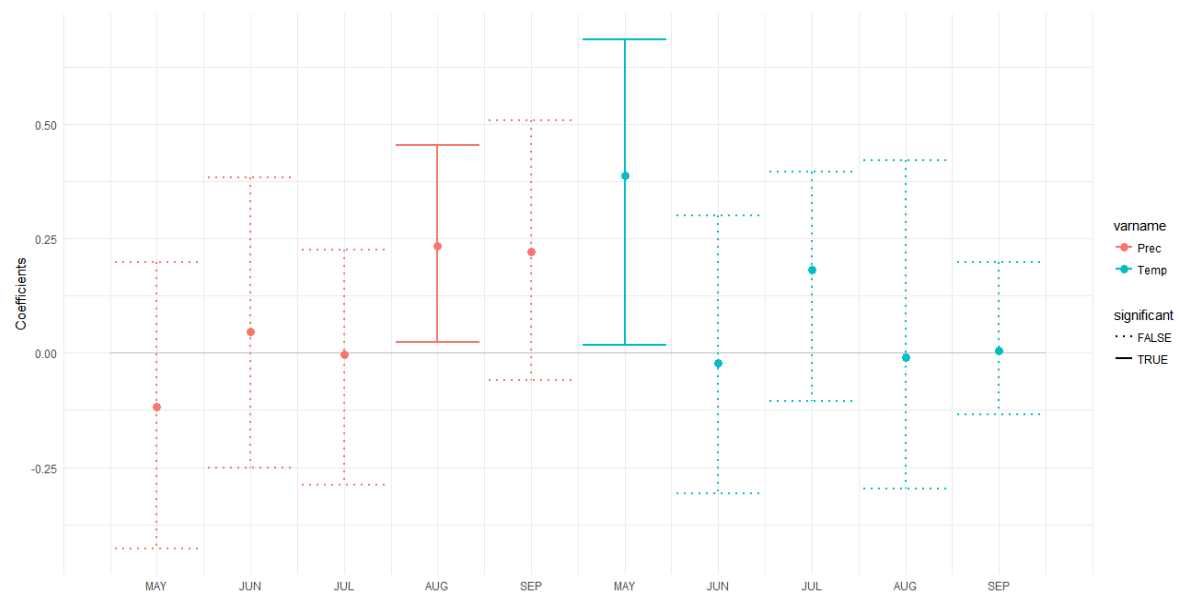
Jooniselt 14 on näha samuti, et proovialal JS017 on ilmastikuandmete mõju lehiste radiaalkasvule aja jooksul muutunud. Statistiliselt oluline negatiivne mõju on radiaalkasvule

märtsikuu (ajavahemikul 1982 kuni 2013) ning positiivne mõju juuni- (1987 kuni 2013) ja septembrikuu (1983 kuni 2009) sademetel.



**Joonis 14.** Libiseva keskmisega korrelatsioon alal JS017. Sinisega on toodud välja positiivsed koefitsiendid ja punasega negatiivsed. Tärniga on märgitud statistiliselt olulised ajavahemikud

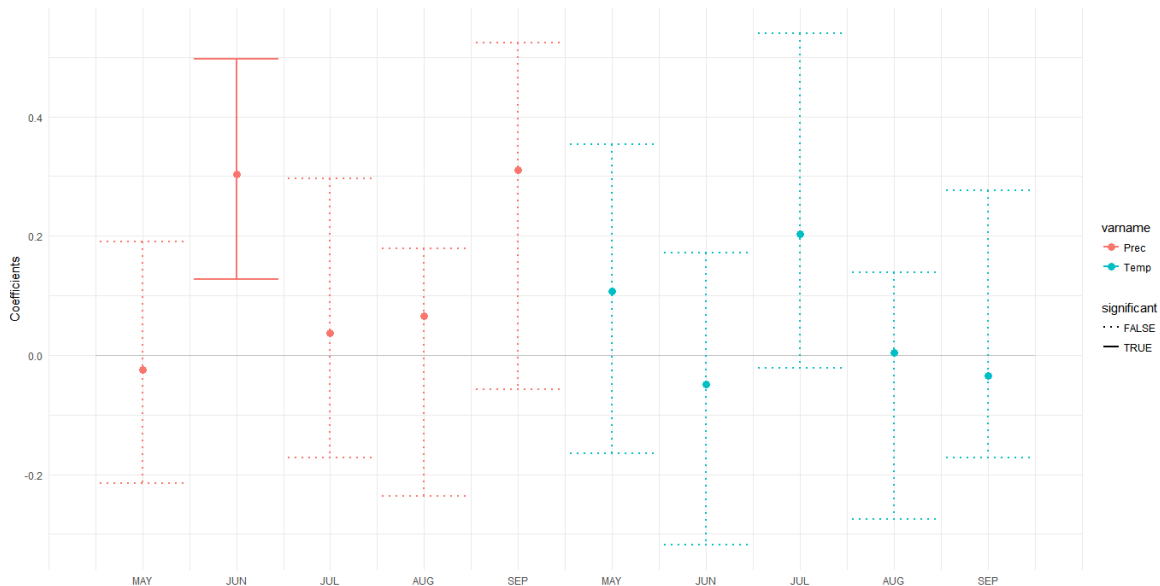
Joonisel 15 on näha, et alal JS279 korrelatsioonianalüüsi tulemustel mõjutavad lehiste radiaalkasvu positiivselt kasvuaasta augustikuu sademed ja kasvuperioodi alguses maikuu temperatuurid.



**Joonis 15.** Korrelatsioonianalüüs maist septembrini proovitükk JS279 kohta. Statistiliselt olulised näitajad on väljatoodud pidevjoonega. Vertikaalteljel aastarõngaste juurdekasvuindeksid, horisontaalteljel analüüsitud kuud

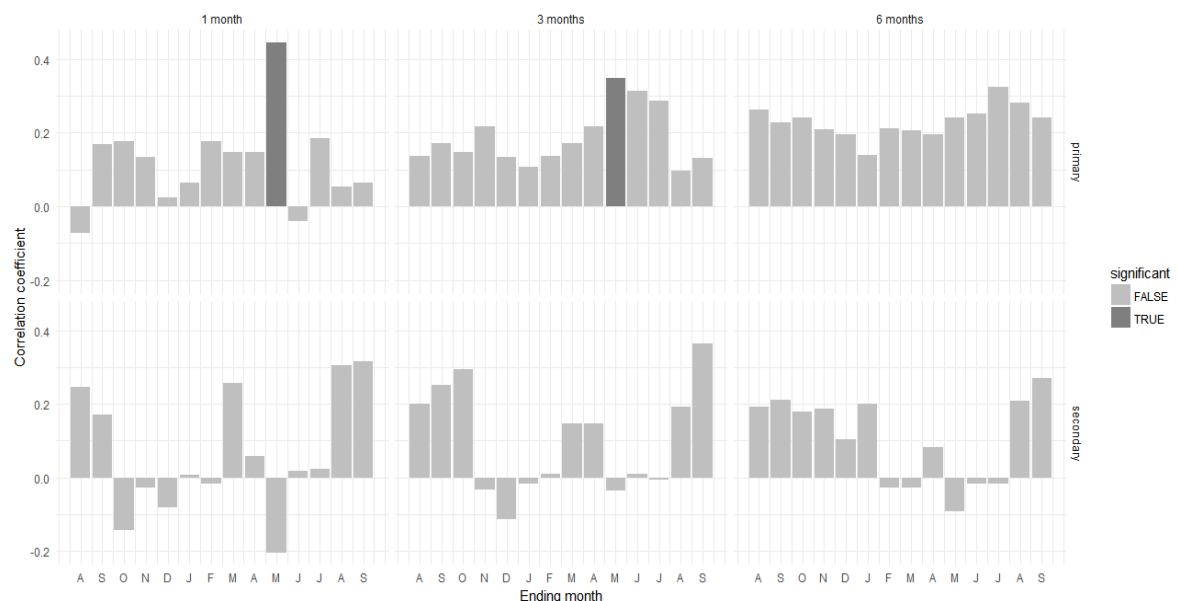


Joonisel 16 on näha, et alal JS017 eelmise kasvuaasta juunikuu sademete summade avaldas positiivset mõju puude radiaalkasvule. Teised ilmastikunäitajad ei olnud olulised.



**Joonis 16.** Korrelatsioonanalüüs maist septembrini proovitükk JS017 kohta. Statistiliselt olulised näitajad on väljatoodud pidevjoonega. Vertikaalteljel aastarõngaste juurdekasvuindeksid, horisontaalteljel analüüsitud kuud

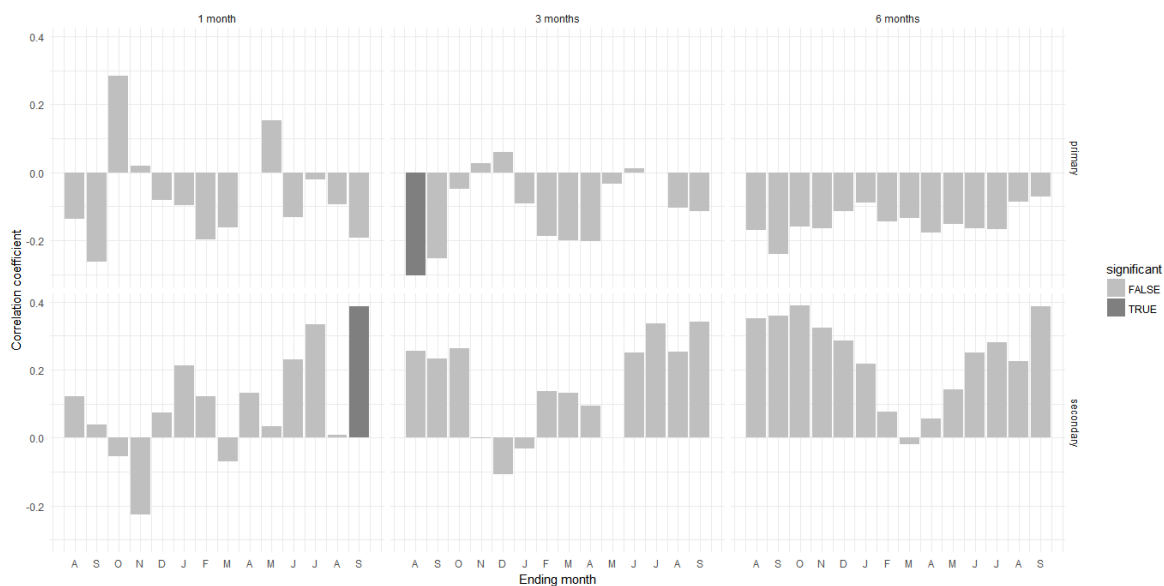
Joonisel 17 on toodud ilmastikunäitajate sesoonsed mõjud radiaalkasvule (vastavalt ühe, kolme ja kuuekuu keskmiste põhjal) alal JS279, kus on näha maikuu temperatuuri ja kliimanäitajate vahelist statistiliselt olulist ja positiivset mõju puude radiaalkasvule. Samuti kevadiste temperatuuride (3 months märtsi kuni maikuu) positiivne mõju radiaalkasvule.



**Joonis 17.** Sesoonne korrelatsioonanalüüs alal JS279. Statistiliselt olulised näitajad on väljatoodud tumehallina. Vertikaalteljel aastarõngaste juurdekasvuindeksid,

horisontaalteljel analüüsitud kuud. *Primary* – keskmiste temperatuuride mõju, *secondary* – sademete summa mõju

Joonisel 18 on näha eelneva kasvuaasta suvekuude (3 months juuni kuni augustikuu) temperatuuride negatiivset mõju lehisepuude radiaalkasvule alal JS017. Statistiliselt oluline positiivne on septembri sademete mõju kasvuaastal, kasvuperioodi lõpus.

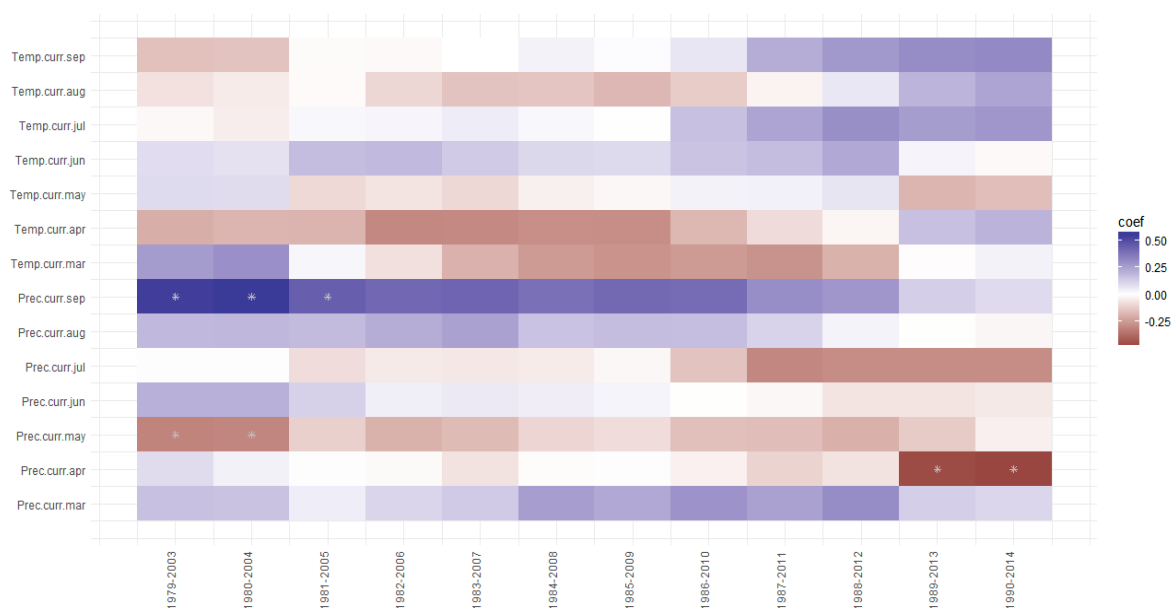


**Joonis 18.** Sesonne korrelatsioonanalüüs alal JS017. Statistiliselt olulised näitajad on väljatoodud tumehallina. *Primary* – keskmiste temperatuuride mõju, *secondary* – sademete summa mõju

### 3.4. Ilmastiku mõju lehisepuude kõrguskasvule

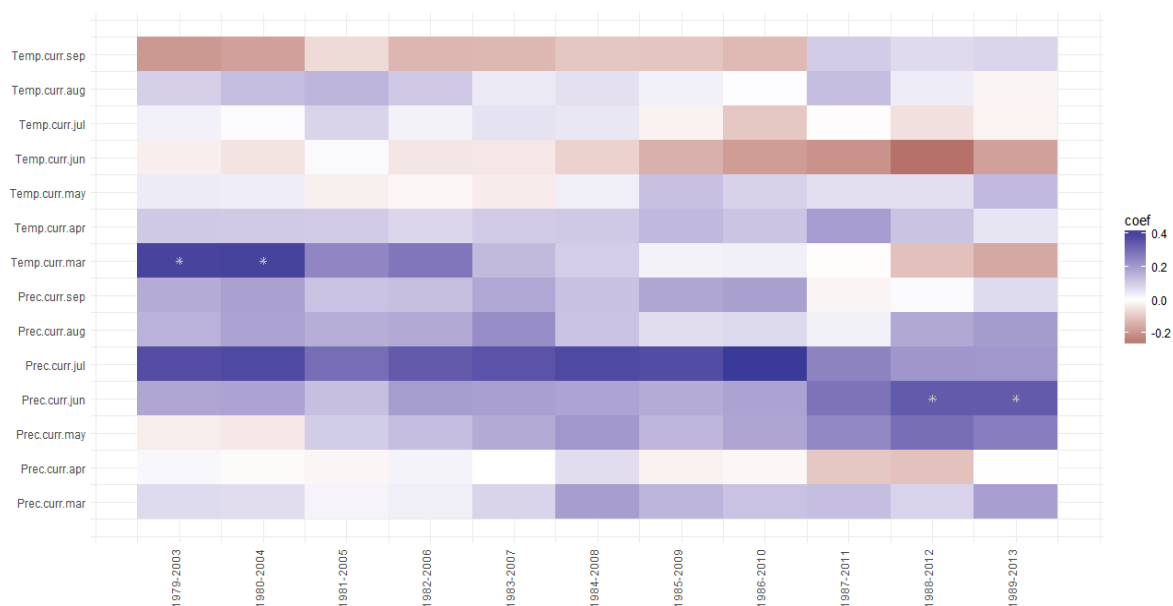
Joonistel 19 kuni 24 on esitatud ilmastikunäitajate ja lehist kõrguskasvude vahelised seosed. Analüüsiti eelneva kasvuaasta märtsist kuni kasvuaasta septembrikuu keskmiste temperatuuride ja sademete mõju lehist kõrguskasvudele proovialade kaupa.

Joonistel 19 ja 20 on toodud libiseva korrelatsioonanalüüsiga leitud ilmastiku mõju radiaalkasvule alates 1979 aastast, vastavalt alal JS017 ja JS279. Vaadeldav *aken* on 25 aastase sammuga. Jooniselt 19 on näha, et alal JS279 on statistiliselt oluline positiivne septembrikuu sademete mõju kõrguskasvule (ajavahemik 1979 kuni 2005) ning negatiivne mais (1979 kuni 2004) ja aprillis (1989 kuni 2014).



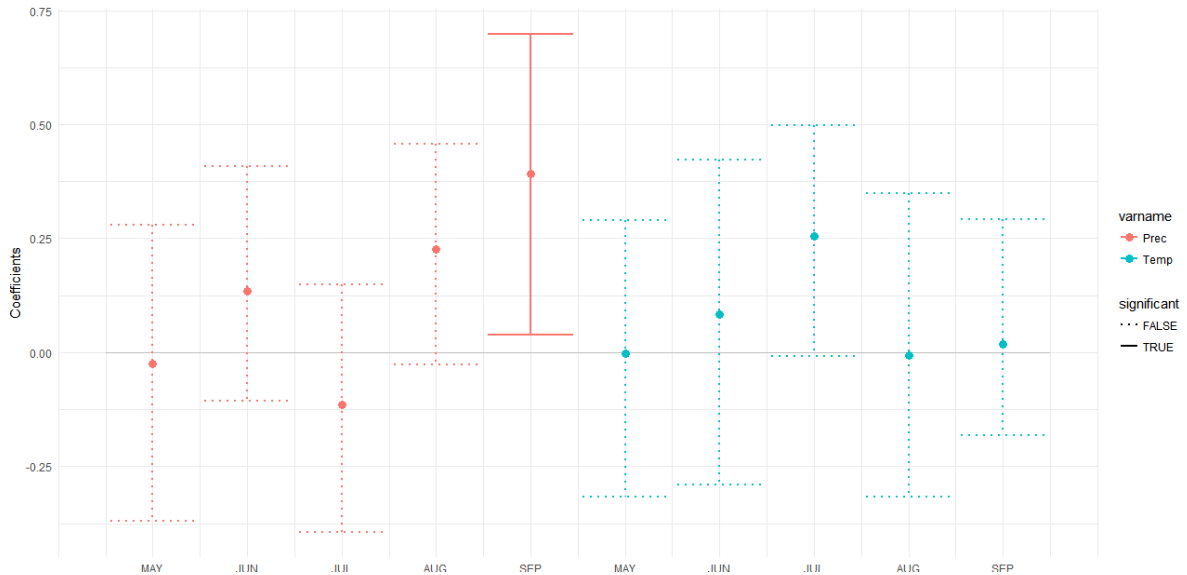
**Joonis 19.** Libiseva keskmisega korrelatsioon alal JS279. Sinisega on toodud välja positiivsed koefitsiendid ja punasega negatiivsed. Tärniga on märgitud statistiliselt olulised ajavahemikud

Jooniselt 20 on näha alal JS017 statistiliselt olulist positiivset keskmise temperatuuri mõju märtsikuu (1979 kuni 2004) ja sademete negatiivse mõju juunis (1988 kuni 2013).



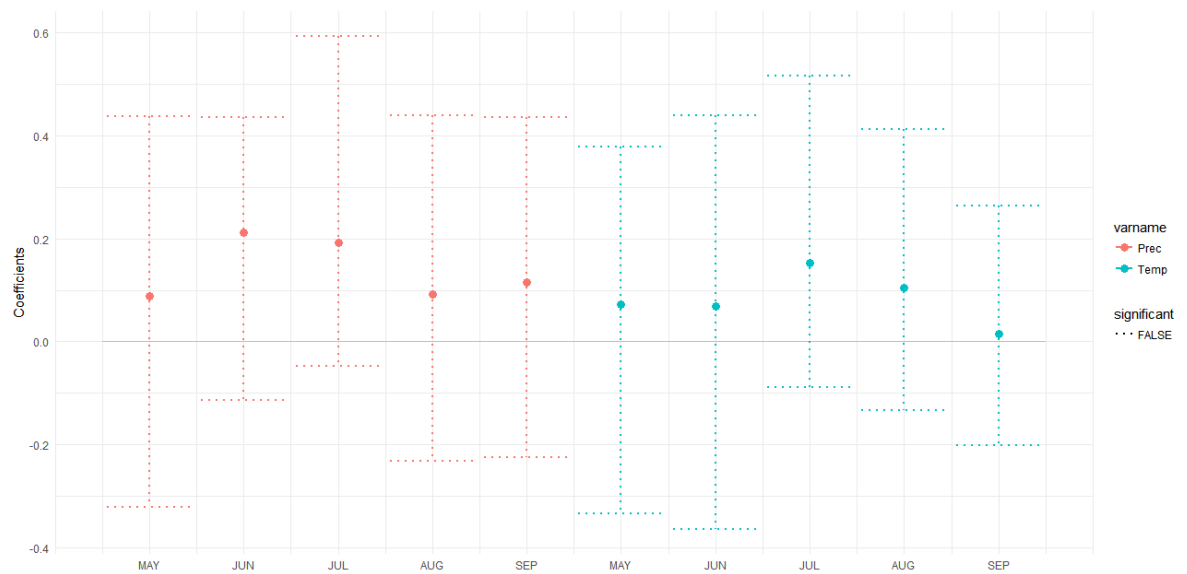
**Joonis 20.** Libiseva keskmisega korrelatsioon alal JS017. Sinisega on toodud välja positiivsed koefitsiendid ja punasega negatiivsed. Tärniga on märgitud statistiliselt olulised ajavahemikud

Jooniselt 23 on näha kasvuaasta septembrikuu statistiliselt olulist positiivset mõju ala JS 279 lehisepuude kõrguskasvule.



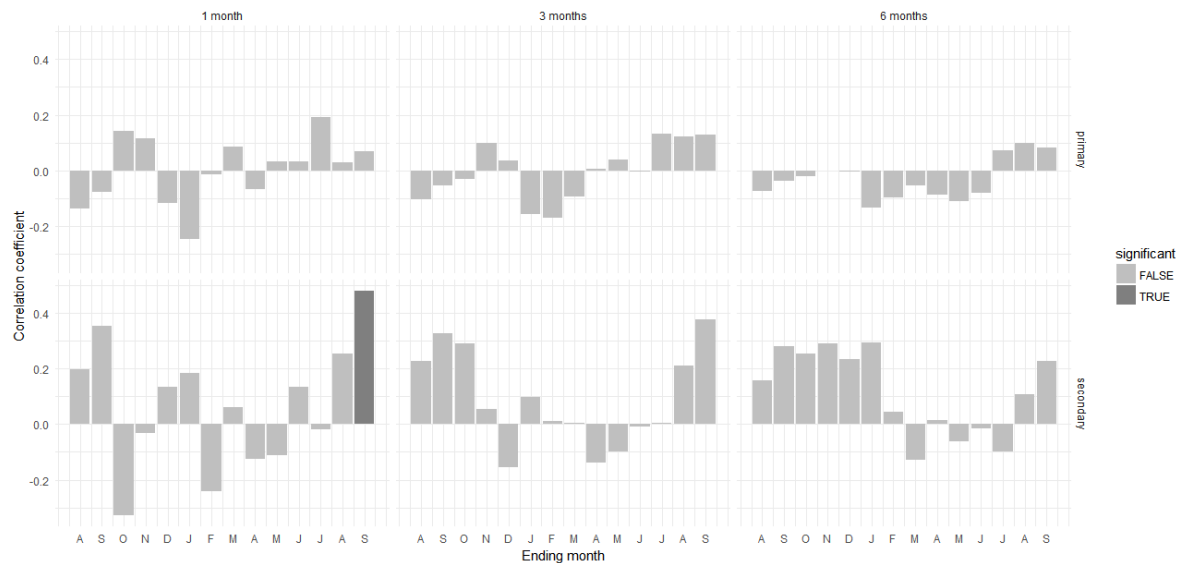
**Joonis 21.** Korrelatsioonanalüüs maist-septembrini prooviala JS279 kohta. Statistiliselt olulised näitajad on väljatoodud pidevjoonega

Joonisel 23 on näha, et alal JS017 ei tulnud välja statistiliselt olulisi seoseid ilmastikunäitajate ja kõrguskasvu vahel.



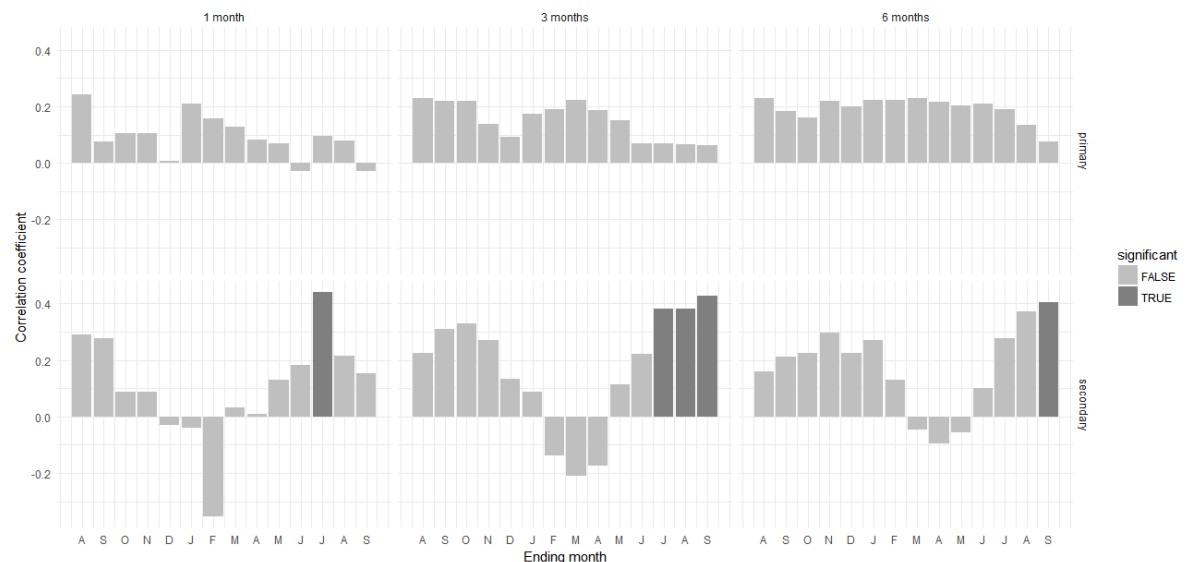
**Joonis 22.** Korrelatsioonanalüüs maist-septembrini proovitükk JS017 kohta. Statistiliselt olulised näitajad on väljatoodud pidevjoonega

Sesoonsel analüüsi tulemused on esitatud joonisel 23 ja 24 vastavalt alade kaupa. Joonisel 23 on näha siiski septembrikuu sademete statistiliselt oluline positiivset mõju lehisepuude kõrguskasvule.



**Joonis 23.** Sessioone korrelatsioonanalüüs proovitükk JS279 kohta. Statistiliselt olulised näitajad on väljatoodud tumehallina. *Primary* – keskmiste temperatuuride mõju, *secondary* – sademete summa mõju

Joonisel 24 on näha sesoonne sademete mõju puude kõrguskasvule alal JS017. Positiivselt mõjutavad kõrguskasvu suvesademed, seega kasvuperioodi sademed.



**Joonis 24.** Sessioone korrelatsioonanalüüs proovitükk JS017 kohta. Statistiliselt olulised näitajad on märgitud tumehallina. *Primary* – keskmiste temperatuuride mõju, *secondary* – sademete summa mõju

### 3.5. Arutelu

Käesolev magistritöö keskendub lehiste juurdekasvude analüüsile ja kliimamõjude vaheliste uurimisele analüüsipuude mõõtmisandmeil. Uuriti kahte erineva vanusega lehisepuistut, mis asuvad Järvelja Õppe- ja Katsemetskonnas. Puude kõrguskasvu kui ka radiaalkasvu mõjutavad erinevad faktorid. Tulemuste analüüsis selgub, et kõige suurem mõju lehistele radiaal- ja kõrguse juurdekasvule oli temperatuuril, see selgus kliimatiliste faktorite korrelatsioonanalüüsil. Tehtud libisevalt korrelatsioonanalüüsilt selgus, et antud analüüsipuude kasvuperioodi viimases pooles on juuli, augusti- ja septembrikuu temperatuur muutunud mõlemal proovitükil positiivseks, nii kõrguskasvu kui ka radiaalkasvu puhul, see võib tuleneda viimaste kasvuaastatel olnud soojema suve lõpu ja sügise alguse tõttu. Sooja sügise positiivset mõju võib seletada kasvutingimusi soodustavate temperatuuridega, mis mõjutavad puu füsioloogilisi protsesse ning seeläbi ka rakkude moodustumist (Pedersen et al. 2004). Puude temperatuuritundlikkus oleneb ka kasvukohast, seega võib septembri ja oktoobrikuu temperatuuride olulisust seletada proovialade lähedusega Peipsi järvele (järve veetaseme muutused). Lehistele radiaalkasvu ja kliimavahelisi seoseid on uuritud palju, kuid kliima mõju lehistele kõrguskasvule seni vähe, kuna andmete kogumine ei ole lihtne. Samas on tehtud mõned kõrguskasvu analüüsid kuuse ja männi kohta meie naaberriikides (Mäkinen 2002).

Jansons et al (2015) on uurinud kliima mõju hariliku männi juurdekasvule Lätis, kus leiti, et aastane kasv on tugevalt mõjutatud kliimatilistest faktoritest. Leitakse, et mändide kõrguskasvu temperatuur on järjest optimaalsem. Seda on just tänu pikemale vegetatsiooni perioodile, mis avaldab mõju kõrguskasvule. Lääne Lätis, kus kliima on pehmem, mõjutab enim eelnenud suve soojus hariliku männi kõrguskasvu. Eriline mõju oli 20 sajandi alguses talve- ja kevadperioodil, 20-nda sajandi teisel poolel on muutunud oluliseks faktoriks septembri ja novembri temperatuur mõju. Ida-Lätis, kus suved on soojemad on kõrguskasv mõjutatud suvistest kraadidest ja sademetest. Kuid 20-nda sajandi hilisemast poolest on eelnenud oktoobri temperatuuri mõju intensiivistunud ning muutunud peamiseks kliimatiliseks kõrguskasvu määrajaks. Näiteks septembri temperatuuri mõju on ilmikas 20 sajandi keskpaigast, mis vihjab vegetatsiooni perioodi pikkuse mõju kõrguskasvule. Lääne-Lätis mõjutab enamjaolt juurdekasvu eelneva suve temperatuur, samas leiti 20 sajandi alguses kevadist temperatuuri mõju idas mõjutas eelneva aasta sügise temperatuur (Jansons et al 2015).

Võrreldes kahe ala radiaalkasvude kohta tehtud korrelatsioonanalüüse, siis statistiliselt olulisi seoseid nende vahel polnud, sama kehtib kõrguskasvude kohta. Erinevused võivad tulla puistu vanusest. Nooremas puistus alal JS279 mõjusid positiivselt radiaalse juurdekasvule mai ja augusti sademed ja maikuu temperatuur. Vanemas puistus JS017 mõjutasid radiaalkasvu positiivselt jaanuari sademed ja septembri temperatuur, negatiivselt aga augusti sademed. Jansons et al. (2015) leidis enda uurimuses, et ka Lätis limiteerivad lehise radiaalkasvu kasvuperioodi sademed. Dubolazov (2014) leidis lehise radiaalkasve analüüsides, et soodustavad tegurid olid maikuu temperatuur ning augusti- ja septembrikuu sademete summad. Negatiivset seost juurdekasvu puhul näitasid augusti ja aprilli sademed, mis ühtivad ka antud töö tulemustega. Kõrguskasvude kohta tehtud korrelatsioonanalüüsist tuli välja alal JS279 septembri temperatuuride ja sademete positiivne mõju kasvule. Alal JS017 juuli, augusti ja septembrikuu temperatuuride positiivne mõju lehiste kõrguskasvule.

Töös kasutatud Laasasenaho (1982) ja Padari (1993) tüvemoodustaja mudelid prognoosivad lehiste kasvu veaga kuna on loodud männipuudele, seega tuleks kindlasti koostada lehistele oma tüvemahu mudel, mis põhineb lehiste analüüsipuude mõõtmisandmetel.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on analüüsida kliima mõju lehiste kõrguse ja diameetri juurdekasvule ja hinnata üksikpuude tüvemahud kahes erineva vanusega puistus. Kokku langetati 20 analüüsipuud aladelt JS017-17 (10 puud 2014.a veebruaris) ja JS279-7 (10 puud 2015.a maikuus).

Koostati radiaal- ja kõrguskasvude kronoloogiad, analüüsiti lehiste juurdekasve, tehti kliimaanalüüs (Pearsoni korrelatsioonanalüüs, libisev ja sesoonne korrelatsioonanalüüs paketi *treeclim* R's) ning kasutati Laasasenaho tüvemoodustajat lehiste tüvemahtude arvutamiseks.

Lehise analüüsipuude juurdekasvude andmeil on näha, vanemas eas on puistus kasv stabiilsem kui nooremas.

Kõrguse ja diameetri juurdekasvu indeksite vahel leiti korrelatsioonid, mis näitavad, et sama ala diameetri- ja kõrguse juurdekasvuindeksite vahel on statistiliselt oluline seos.

Lehiste radiaalkasvu mõjutab peamiselt kasvuperioodi alguse keskmine temperatuur. Lehiste kõrguskasvule täheldati peamiselt sademete positiivset mõju kasvuperioodil ja kasvuperioodi lõpus.

Väga oluline on metsanduslike teadusuuringute ja analüüside tegemine ning järjepidev analüüsimeetodikate arendamine. Eestis on rajatud hulgaliselt lehise kultuure, mis on leidnud meie kliimas ja mullas endale head kasvutingimused. Kuid seni puudub Eestis lehistele oma tüvemahu mudel, mis põhineb lehiste analüüsipuude mõõtmisandmetel, seega tuleks see koostada, mis arvestaks ka puude kasvutingimusi.



## KASUTATUD KIRJANDUS

- Biondi, F., Waikul, K.** (2008). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. – *Computers & Geosciences*. Vol. 30, pp. 303-311.
- Bodman, S. W., Gutierrez, C. M., Marburger III, J. H.** (2008). Abrupt Climate Change. Final Report, Synthesis and Assessment Product 3.4. 477 pp.
- Bunn, A.G.** (2017). Dendrochronology Program Library in R. [<https://cran.r-project.org/web/packages/dplR/dplR.pdf>].
- Dubolazov, E.** (2014). Lehiste kasvu analüüs Sirgala tasandatud põlevkivikarjääri puistangul. (Bakalaaursetöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Eesti Entsüklopeedia (1990). Tallinn: Valgu. 468 lk.
- Harvendusraie määramine ja teostamine. (vastu võetud 08.07.2004, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 27.10.2008). *Riigi Teataja* [<https://www.riigiteataja.ee/akt/13351967/htmlilisa/13351988>] (18.04.2017)
- Hordo, M., Metslaid, S., Kiviste, A.** (2009). Response of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Radial Growth to Climate Factors in Estonia. – *Baltic Forestry*. Vol 15, No. 2, pp. 195-197.
- Jansons, Ā., Matisons, R., Zadiņa, M., Sisenis, L., Jansons, J.** (2015). The effect of climatic factors on height increment of Scots pine in sites differing by continentality in Latvia. – *Silva Fennica*. Vol. 49, No. 3, 14 pp.
- Järvelja Metsamajandmise Infosüsteem. [<https://jarvelja.emu.ee/>] (05.04.2017)
- Kasesalu, H.** (1999). Lehise kasvatamise tulemusi Järveljal. – *Metsanduslikud uurimused*. Nr 31, lk 125-130.
- Kasesalu, H., Kiviste, A.** (2001). The Kuril Larch (*Larix gmelinii* var *japonica* (Regel) (Pilger) at Järvelja. – *Baltic Forestry*, Vol. 7, No. 1. pp. 59-66.
- Kiviste, A., Hordo, M.** (2002). Eestit kattev metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustik. – *Metsanduslikud Uurimused*. Nr 37, lk 57–69.
- Laasasenaho, J.** (1982). Taper curve and volume function for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108 pp.
- Larocque, G. R** (2016). Ecological Forest Management Handbook. Florida, pp. 247-248.

- Lepp, A.** (1999). Pidev metsakorraldus. Tartu. 18-27 lk.
- Läanelaid, A.** (1999). Dendrokronoloogia. Dendrokronoloogilised printsiibid. Tartu.
- Matras, J., Pâques, L. E.** (2008). European larch. – *Technical guidelines for genetic conservation and use for European larch.* 6 pp.
- Medlyn, B.E., Duursma, R.A., Zeppel, M.J.B.** (2011). Forest productivity Under climate change. – *WIREs Climate change.* Vol. 2, No. 3, pp. 332-355.
- Mäkinen, I., Isomäki, P., Nöjd, A.** (2002). Radial, Height and Volume Increment Variation in *Picea abies*(L.) Karst. Stand with Varying Thinning Intensities. – *Scandinavian Journal of Forest Research.* Vol. Vanta, Soome, pp. 304-315.
- National Climatic Data Center (NOAA). (2017) User Guide to COFECHA output files. [<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering/cofecha/userguide.html>] (05.05.2017).
- Niidu, I.** (2015). Arukase, hariliku kuuse ja hariliku männi radiaalse juurdekasvu ja kliima mõju analüüs laanemetsade andmeil. (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Ozolincu, R.** (2012). Possible effects of climate change on forest biodiversity, tree growth and condition: review of research in Lithuania. – *Baltic forestry.* Vol. 18, No. 1, pp. 156-167.
- Padari, A.** (1993). Hiiumaa männikute takseertunnuste sõltuvusest mere kaugusest. (Diplomitöö). Eesti Põllumajandusülikool. Metsandusinstituut.
- Paves, H.** (1968). Lehiste tüvemahu määramisest. – *Metsanduslikud Uurimused.* Nr 6, lk 142-146.
- Pederson, N., E.R. Cook, G.C. Jacoby, D.M. Peteet, and K.L. Griffin.** (2004). The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. *Dendrochronologia*, 22, 7-29.
- Pihelgas, E.** (1983). Metsabioloogia. Tallinn: Valgus. 224 lk.
- Pruuli, M.** (2014). Hariliku männi kasv ja häiringute mõju analüüs Käsmu poolsaarel. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- R Development Core Team. (2017). R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. [<http://www.r-project.org/>] (02.05.2017)
- Rebane, H.** (1968). Kase tüvemahud kõrguse ja rinnasdiameetri järgi kuni 30-aastaseis puistuis. – *Metsanduslikud Uurimused.* Nr 6, lk 147-149.

- Remm, K., Remm, J., Kaasik, A.** (2012). Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Õpikkäsiraamat. Tartu. 442 lk.
- Riistop, E.** (2008). Puuinfo. 12-14 lk.
- Saarman, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Tartu. 560 lk.
- Zang, C.** (2013). bootRes: bootstrapped response and correlation functions. [<http://cran.r-project.org/web/packages/bootRes/index.html>] (01.05.2017).
- Zang, C., Biondi, F.** (2016). Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. – *Dendrochronologia*. Vol. 31, No. 1, pp. 68-74.
- Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., Jones, P. D.** (1984). On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. – *Journal of Climate and Applied Meteorology*, pp 201-205.

**LISAD**

## Lisa 1. JS017, eraldis 15 üldinfo

<i>Kvartal:</i>	JS017	<i>Eraldis:</i>	15	<i>Kat.Nr:</i>	91501:0 08:0099
<i>Pindala:</i>	0,99	<i>Tuleohuklas s:</i>	2	<i>Arenguklas s:</i>	Keskeali ne mets
<i>Kasvukoht:</i>	JK	<i>Kõlvik:</i>	Tootlik metsama a	<i>H100 (m):</i>	38,4
<i>Kaitsepõhju s:</i>	Kaitseala piiranguvöö nd	<i>Kaitsealune pind:</i>	0,99	<i>boniteet:</i>	0
<i>1. r. tagavara (tm/ha):</i>	309	<i>1. r. rinnaspindal a (m2/ha):</i>	22,2	<i>1. r. täius (%):</i>	58
<i>2. r. tagavara (tm/ha):</i>	0	<i>2. r. rinnaspindal a (m2/ha):</i>	0	<i>2. r. täius (%):</i>	0
<i>Inv. kuupäev:</i>	8.07.2015	<i>Taksaator:</i>	Allan Sims	<i>Märkused:</i>	

## Lisa 2. JS279, eraldis 7 üldinfo

<i>Kvartal:</i>	JS279	<i>Eraldis:</i>	7	<i>Kat.Nr:</i>	45401:001:0248
<i>Pindala:</i>	2,18	<i>Tuleohuklass:</i>	2	<i>Arenguklass:</i>	Keskealine mets
<i>Kasvukoht:</i>	JK	<i>Kõlvik:</i>	Tootlik metsamaa	<i>H100 (m):</i>	38,2
<i>Kaitsepõhjus:</i>	-	<i>Kaitsealune pind:</i>	0	<i>boniteet:</i>	0
<i>1. r. tagavara (tm/ha):</i>	266	<i>1. r. rinnaspindala (m2/ha):</i>	24	<i>1. r. täius (%):</i>	69
<i>2. r. tagavara (tm/ha):</i>	0	<i>2. r. rinnaspindala (m2/ha):</i>	0	<i>2. r. täius (%):</i>	0
<i>Inv. kuupäev:</i>	15.07.2016	<i>Taksaator:</i>	Olavi Murumets	<i>Märkused:</i>	

### **Lisa 3. Transporditud lehised labori ees**



Foto autor: Tauno Kusma

**Lisa 4. Kreutzwaldi 5 asuvas laboris, külmkapist võetud järjestatud ja märgistatud vastavalt puule**



Foto autor: Tauno Kusma



## Lisa 5. Lihvitud lehise ketas valmis andmete lugemiseks



Foto autor: Tauno Kusma

**Lisa 6. Säsikohast läbi lõigatud palgist 5cm paksuse laua lõikamine lintsaega**



Foto: Indrek Niidu



## Lisa 7. Puu kokku panek ja juurdekasvude märkimine ja mõõtmine



Foto autor: Tauno Kusma

## Lisa 8. Puu kokku panek ja juurdekasvude märkimine ja mõõtmine



Foto autor: Indrek Niidu

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Indrek Niidu,  
(sünnipäev 16.juuli 1990)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö  
Lehiste juurdekasvude analüüs Järvselja Öppe- ja Katsemetskonna kahe erivanuselise  
puistu andmetel,  
mille juhendajad on Maris Hordo, Andres Kiviste, Ahto Kangur
  1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse  
kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 22.05.2017

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)